

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
BEATRICE SILVEIRA DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BLOCO A DO
CAMPUS BLUMENAU DA UFSC ATRAVÉS DO PROGRAMA PROCEL EDIFICA**

ARARANGUÁ
2019

BEATRICE SILVEIRA DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO
BLOCO A DO CAMPUS BLUMENAU DA UFSC ATRAVÉS DO
PROGRAMA PROCEL EDIFICA**

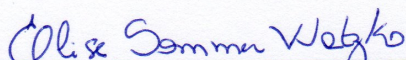
Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Orientador(a): Profa. Dr. Elise Sommer
Watzko.

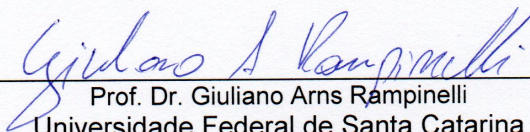
Coorientador(a): Eng. Julia Sborz

Araranguá, 01 de julho de 2019.

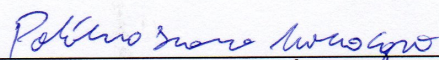
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Elise Sommer Watzko (Orientadora)
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Me. Políbio Ícaro Moro Capo
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, professora Elise, pela oportunidade de realizar este trabalho sob sua orientação e por todo o tempo dedicado.

À minha co-orientadora, Júlia, pela ajuda indispensável neste trabalho.

À minha família, por todo o apoio e incentivo, sem eles eu não estaria aqui.

À todos os meus professores, por terem me ensinado e ajudado em diversas etapas.

Aos amigos que fiz na faculdade, pelas inúmeras horas de estudo, madrugadas viradas e companhia.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”. (Albert Einstein)

RESUMO

O elevado consumo de energia elétrica vem aumentando a preocupação com os impactos ambientais. No Brasil, edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas consomem cerca de 50 % da produção energética. Parte significativa deste consumo destina-se ao condicionamento de ar artificial. A adequação de uma edificação ao clima e a escolha de materiais construtivos mais energeticamente eficientes são alternativas para diminuir esse consumo. Diversos programas vêm sendo desenvolvidos para incentivar a redução da demanda energética e a busca por equipamentos mais eficientes, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo geral definir o nível de eficiência energética do Bloco A do Campus Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para tanto, foram utilizados os métodos prescritivo e de simulação propostos pelo “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas”. Pelo método prescritivo, utilizou-se equações que baseiam-se nas características construtivas da edificação, para obter o nível de classificação da envoltória, da iluminação e do condicionamento de ar. A edificação atingiu o nível geral de eficiência energética “B”. Foram propostas algumas intervenções para elevar a sua eficiência energética para “A”. Já pelo método de simulação, foi utilizado o *software* EnergyPlus para conferência do nível de classificação da edificação. Diferentemente do método anterior, no método de simulação a edificação atingiu o nível “A”. Com esse trabalho conclui-se que existe um grande potencial de melhoria na eficiência do Bloco A, que não só diminuiria seu consumo de energia mas também contribuiria para o bem-estar dos alunos, professores e servidores.

Palavras-chave: Eficiência energética nas edificações. Etiquetagem. RTQ-C. EnergyPlus.

ABSTRACT

The high consumption of electric energy has been increasing concern with environmental impacts. In Brazil, residential, commercial, services and public buildings consume about 50 % of the energy production. A significant part of this consumption is due to artificial air conditioning. The adequacy of the building to the climate and the choice of energy efficient construction materials are an alternative to reduce this consumption. Some programs are being developed to incentivize the reduction of energy demand and the use of more efficient equipments, such as the “Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica” (PROCEL). The present work has as its general objective define the energy efficiency level of Campus Blumenau – building A – of Federal University of Santa Catarina (UFSC). For that, were used the prescriptive method and the simulation method proposed by “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas”. In prescriptive method, equations were used, which are based in constructive characteristics of the building, to obtain the classification level of the envelopment, the illumination and the air conditioning system. The building was classified with an “B” level of energy efficiency. Then, some changes in the building were proposed, in order to raise its classification to level “A”. In simulation method, EnergyPlus *software* was used to check the classification level of the building. Unlike the previous method, in simulation method, the building was classified with level “A”. The conclusion of this work is that there is a huge potential of improvement in the energy efficiency of building A, which would not only reduce its energy consumption but also would contribute to the well being of students, teachers and servers.

Keywords: Energy efficiency in buildings. Labeling. RTQ-C. EnergyPlus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Participação setorial no consumo de eletricidade.....	14
Figura 2 - Equação Geral	27
Figura 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	29
Figura 4 - Índices de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar Split Hi-Wall	34
Figura 5 - Índices de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar Split Piso-Teto	34
Figura 6 - Fachada do Bloco A do Campus UFSC Blumenau	39
Figura 7 - Planta baixa do Bloco A	40
Figura 8 - Simulação da Envoltória do Bloco A no Webprescritivo	43
Figura 9 - Simulação da Iluminação do Bloco A no Webprescritivo	47
Figura 10 - Simulação da Etiqueta Geral do Bloco A no Webprescritivo	48
Figura 11 - Simulação no Webprescritivo das mudanças sugeridas	50
Figura 12 - Modelo real do Bloco A	52
Figura 13 - Resultado das simulações no EnergyPlus	55
Figura 14 - Variação da orientação da fachada principal	56
Figura 15 - Variação da transmitância térmica da cobertura	57
Figura 16 - Variação da absorvância da parede	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinações de métodos de avaliação para obtenção da Classificação Geral	25
Tabela 2 - Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)	28
Tabela 3 - Classificação Geral	28
Tabela 4 - Pré-requisitos da envoltória que devem ser atendidos por nível de eficiência	29
Tabela 5 - Pré-requisitos da transmitância térmica para a zona bioclimática 3	30
Tabela 6 - Relação entre Percentual de Aberturas Zenital e Fator Solar	31
Tabela 7 - Limite dos intervalos dos índices de eficiência	32
Tabela 8 - Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência	36
Tabela 9 - equivalentes numéricos para ventilação natural	37
Tabela 10 - Áreas equivalentes à envoltória e áreas de abertura	41
Tabela 11 - Sistemas de condicionamento de ar – Bloco A	43
Tabela 12 - Determinação da eficiência do sistema de condicionamento de ar do bloco A	45
Tabela 13 - Sistema de iluminação – Bloco A	46
Tabela 14 - Potência limite instalada para cada nível de eficiência – Bloco A	47
Tabela 15 - Características do Modelo Real e dos Modelos de Referência	51
Tabela 16 - Equipamentos instalados no Bloco A	54
Tabela 17 - Elementos construtivos do Bloco A	54
Tabela 18 - Propriedade térmica dos materiais	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
AC	Área útil dos ambientes condicionados
A_{env}	Área da envoltória
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
ANC	Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Ape	Área de projeção do edifício
APT	Área útil dos ambientes de permanência transitória não condicionados
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
AU	Área útil
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
b	Pontuação obtida pelas bonificações
BREEAM	Building Research Establishment Environment Assessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
C	Capacidade
CP	Coefficiente de Ponderação
C_t	Capacidade total
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DPI_L	Densidade de potência de iluminação limite
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação da Energia
EqNum	Equivalente numérico de eficiência
EqNumCA	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar
EqNumDPI	Equivalente numérico do sistema de iluminação
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória
EqNumV	Equivalente numérico de ambientes não condicionados
EqNumS	Equivalente numérico de simulação
EPW	EnergyPlus Weather File
FA	Fator Altura
FF	Fator de Forma
FGA	Faculdade do Gama
FS	Fator Solar

IC _{env}	Indicador de consumo da envoltória
IC _{máxD}	Indicador de consumo máximo
IC _{mín}	Indicador de consumo mínimo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
PAF _T	Percentual de Abertura na Fachada total
PAZ	Percentual de abertura zenital
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PT	Pontuação
RAC	Requisito de Avaliação da Conformidade para Edificações
RP	Resultado Ponderado
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SC	Santa Catarina
U	Transmitância térmica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
V _{tot}	Volume total

LISTA DE SÍMBOLOS

Btu/h	Unidade Térmica Britânica por hora
GWh	Gigawatt-hora
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kJ/kg.K	Quilojoule por quilograma Kelvin
m	Metro
m ²	Metro quadrado
W	Watt
W/W	Coefficiente de eficiência energética
W/m ²	Watt por metro quadrado
W/m ² K	Watt por metro quadrado Kelvin
W/m.K	Watt por metro Kelvin

SUMÁRIO

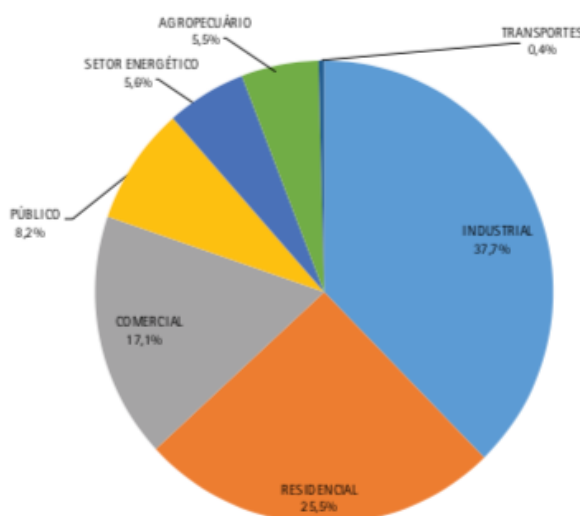
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Conforto térmico	17
2.2 Arquitetura bioclimática	18
2.3 Eficiência energética	19
2.4 Etiquetagem de eficiência energética de edificações.....	20
2.4.1 Programas de etiquetagem pelo mundo	20
2.4.2 Programa brasileiro de etiquetagem.....	22
3 METODOLOGIA	25
3.1 Requisitos técnicos para obtenção da ENCE	25
3.1.1 Método prescritivo.....	26
3.1.1.1 Classificação da eficiência energética da envoltória.....	28
3.1.1.2 Classificação da eficiência energética do sistema de iluminação.....	32
3.1.1.3 Classificação da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar	33
3.1.2 Método de simulação	34
3.2 Edificação estudada	38
4 RESULTADOS.....	40
4.1 Avaliação da eficiência energética pelo método prescritivo.....	40
4.1.1 Envoltória.....	41
4.1.2 Condicionamento de ar.....	43
4.1.3 Iluminação	45
4.1.4 Nível de eficiência geral da edificação	47
4.2 Medidas para melhorar a eficiência energética.....	48
4.3 Avaliação da eficiência energética pelo método de simulação.....	50
4.3.1 Modelo de simulação	50
4.3.2 Resultado das simulações.....	55
5 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A - PLANTA BAIXA DO BLOCO A	65
APÊNDICE B - PADRÕES DE OCUPAÇÃO.....	68
B.1 Biblioteca.....	68
B.2 Assistência estudantil e atendimento estudantil.....	68
B.3 Direção, Direção da Biblioteca, Sala TI, Servidor	69
B.4 Secretaria dos cursos	69
B.5 Sala dos Coordenadores.....	69
B.6 Sala de aula	71
B.7 Copa.....	72
B.8 Monitoria e sala dos professores	72
APÊNDICE C – PADRÕES DE ILUMINAÇÃO	73
C.1 Biblioteca.....	73
C.2 Assistência estudantil e atendimento estudantil.....	73
C.3 Direção, Direção da Biblioteca, Sala TI, Servidor	74
C.4 Secretaria dos cursos	74
C.5 Sala dos Coordenadores.....	75
C.6 Sala de aula	75
C.7 Copa	76

C.8 Monitoria e sala dos professores	76
APÊNDICE D – PADRÕES DE USO DOS EQUIPAMENTOS	77
D.1 Biblioteca.....	77
D.2 Assistência estudantil	77
D.3 Secretaria dos cursos	78
D.4 Sala dos Coordenadores.....	78
D.5 Direção.....	79
D.6 Direção da Biblioteca.....	79
D.7 Sala de aula	80
D.8 Copa	80
D.9 Corredor.....	81
D.10 Sala de TI e Sala do Servidor	81
ANEXO A.....	82

1 INTRODUÇÃO

Os impactos causados pelo uso exagerado dos recursos naturais estão cada vez mais evidentes, tornando necessária a busca por alternativas para minimizá-los, especialmente através da redução do consumo de energia elétrica. O setor da construção civil possui uma das maiores demandas energéticas do mundo, tanto durante quanto após a execução das obras (BASSO, NOGUEIRA, SILVA, 2015). No subsetor de edificações, desde a fase de projeto, é característica a falta de preocupação com o desempenho termoenergético da edificação, o que implica em edificações com baixa qualidade de conforto térmico. Para minimizar esse problema, muitas vezes é necessário a utilização de meios artificiais, entre os quais pode-se citar sistemas de aquecimento e resfriamento, grandes consumidores de energia elétrica (SANTOS, 2008). A Figura 1 mostra que as edificações residenciais, comerciais e públicas correspondem a cerca de 50 % do consumo de eletricidade brasileiro.

Figura 1- Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2018).

Embora a matriz elétrica brasileira seja majoritariamente renovável, os níveis de desperdício de energia são expressivos. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), entre 2013 e 2016 o Brasil desperdiçou 143.647 GWh de energia, o equivalente ao consumo mensal da cidade de São José dos Campos, que possui cerca de 530 mil habitantes. Entre os segmentos com grande potencial de economia de energia está o das edificações, que com a adoção de medidas de eficiência

energética pode chegar a uma redução de até 50 % em edificações novas e até 30 % naquelas que passarem por reformas (PROCEL INFO, 2019).

Em edifícios com fins educacionais, o conforto ambiental é especialmente importante, já que o aprendizado depende também das condições físicas das salas de aulas. Excesso de umidade, temperaturas elevadas, ruído excessivo, iluminação inadequada e densidade excessiva de pessoas comprometem a produtividade dos indivíduos.

As edificações que compõe as universidades federais, no geral, possuem um grande consumo de energia elétrica. Conforme dados do Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE), vinculado a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), só em 2018, a UFSC teve um consumo de 26,9 GWh, o que é equivalente ao consumo de 11,62 mil residências. O consumo do Campus Blumenau correspondeu a 0,93 % de todo o consumo da UFSC em 2018, o equivalente a 108 residências catarinenses.

Visando o combate ao desperdício de energia surgiram programas como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). A etiquetagem tem como objetivo classificar equipamentos e edificações quanto ao seu desempenho energético, facilitando a escolha de produtos mais econômicos pelo consumidor. Em edificações, baseia-se em regulamentos específicos que determinam o seu nível de eficiência, sendo A o mais eficiente e E o menos eficiente. Inicialmente facultativa, a etiquetagem em edificações vem se tornando cada vez mais comum e já é obrigatória para edifícios públicos federais (SILVA, 2014).

Com isso, o objetivo geral desse trabalho é determinar o nível de eficiência energética do Bloco A do Campus Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), de acordo com os métodos prescritivo e de simulação computacional propostos pelo Procel para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE).

Para tanto, os objetivos específicos são:

- Determinar os fundamentos teóricos de eficiência energética e dos processos de etiquetagem de edificações, destacando os requisitos do Programa Brasileiro de Edificações;
- Realizar a classificação da edificação quanto à sua eficiência energética através da metodologia prescritiva do RTQ-C;
- Realizar a classificação da edificação quanto à sua eficiência energética através da metodologia de simulação do RTQ-C;

- Comparar os resultados obtidos pelo método prescritivo e pelo método de simulação e definir o melhor método;
- Analisar os resultados obtidos e apontar melhorias para elevação da classificação, se necessário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As próximas seções descrevem os pressupostos teóricos relacionados à temática estudada no presente trabalho.

2.1 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser definido do ponto de vista pessoal ou ambiental. Do ponto de vista pessoal, é um estado de espírito que expressa a satisfação de uma pessoa com o ambiente térmico ao seu redor. Essa satisfação é subjetiva e depende de variáveis físicas, fisiológicas, psicológicas, entre outras (ASHRAE, 2017). De acordo com Santos (2008), do ponto de vista ambiental, para que uma pessoa esteja em estado de conforto térmico é necessário que ela se encontre em balanço térmico, ou seja, que todo o calor gerado por seu organismo seja transferido ao exterior através de perdas térmicas, e que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor fiquem dentro de certos limites.

As variáveis que influenciam o conforto térmico são metabolismo, vestuário, temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar. O metabolismo refere-se ao conjunto de processos fisiológicos e químicos através dos quais o organismo adquire energia. Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, essa quantidade de energia produzida que é transformada em potencialidade de trabalho varia de acordo com a atividade física desenvolvida pela pessoa. Dessa forma, em locais onde a atividade física é muito intensa é recomendável o uso abundante de ventilação. Em áreas em que os usuários demandam por atenção ao realizar suas tarefas, é necessário dosar os fluxos de ar de forma a evitar que atrapalhe a concentração das pessoas (PAPST et al., 2005).

Conforme Lamberts (2011), o vestuário interfere no conforto térmico pois equivale a uma resistência térmica entre o corpo e o meio, diminuindo as trocas de calor entre ambos. Funciona como isolante térmico, tanto no frio quanto no calor, já que mantém uma camada de ar entre a roupa e a pele. Por exemplo, em climas secos, onde se atinge elevadas temperaturas, vestimentas adequadas podem reduzir o ganho de calor relativo à radiação solar direta e manter a umidade advinda do organismo pela transpiração, evitando a desidratação.

A temperatura do ar é a variável mais importante. Ela influencia a razão com a qual o corpo ganha ou perde calor para o ambiente e na temperatura do ar expirado pelo mesmo.

Quanto maior essa temperatura, maior é a dificuldade da dissipação de calor por convecção (LAMBERTS, 2011).

A temperatura radiante média descreve o ambiente radiante em um ponto no espaço. Tem influência na troca de calor por radiação entre a pessoa e as superfícies do ambiente, objetos e equipamentos nele existentes. Por exemplo, o efeito radiante em uma pessoa parada em frente de uma lareira é bastante alto devido à temperatura do fogo. Já no caso de alguém próximo a uma janela no inverno, o efeito radiante pode ser negativo (PAPST et al., 2005).

Outro fator que influencia no conforto térmico é a umidade do ar, que interfere na perda de calor por evaporação. Quanto mais seco o ar, melhor é a absorção de suor da pele, resfriando o corpo mais efetivamente. Por outro lado, em altas umidades, o resfriamento por evaporação da pele é reduzido, fazendo com que a pessoa comece a ganhar calor assim que a temperatura do ar for superior a da pele (PAPST et al., 2005).

A última variável que influencia na troca de calor entre o corpo e o ambiente é a velocidade do ar. Quanto mais intensa for essa velocidade, maior será a quantidade de calor trocada por convecção e conseqüentemente, menor será a sensação de calor. O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo (LAMBERTS, 2011).

2.2 Arquitetura bioclimática

A bioclimatologia estuda as relações entre o clima e os seres vivos (LAMBERTS, 2011). Quando aliada à arquitetura, pode reduzir de forma significativa o consumo de energia elétrica das edificações, melhorar suas condições de conforto e tornar o ambiente mais saudável (PAPST et al., 2005).

A arquitetura bioclimática consiste em pensar e projetar uma edificação considerando o clima e todas as características ambientais do local em que se insere (SILVA, DIAS, 2014). O Brasil possui um território imenso e cada região possui suas particularidades, que devem ser atendidas pela arquitetura bioclimática (SILVA, 2017).

Para isso deve ser feito um estudo ambiental e climático para cada projeto, além de propor estratégias para aumentar o conforto ambiental. É importante considerar a orientação solar, a fim de obter a melhor localização dos cômodos; a localização das aberturas, para facilitar a ventilação cruzada, o ganho de calor solar no inverno e evitar o uso de sistemas artificiais de climatização; o sombreamento, que deve evitar a penetração de radiação solar durante o verão e permitir a entrada de radiação no inverno; entre outros (SILVA, 2017).

Um dos fatores que contribuiu para o aumento da procura por edificações que priorizem estratégias naturais no projeto, é a crescente preocupação com o consumo elevado de energia elétrica, visto que o uso de condicionamentos artificiais para garantir o conforto ambiental impacta diretamente nesse consumo. Dessa forma, a arquitetura bioclimática surge como uma ferramenta importante na busca por edificações termicamente confortáveis, que poupem energia e produzam menos poluição (GUERRA, 2016).

2.3 Eficiência energética

O conceito de eficiência energética está relacionado ao desempenho obtido por determinado equipamento ou serviço. Esses são considerados eficientes quando utilizam uma quantidade menor de energia para desempenhar o mesmo papel (SILVA, 2014). Já em uma edificação, é mais eficiente aquela que proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (PAPST et al., 2005).

A eficiência energética é fundamental para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e para prevenir crises de abastecimento energético. No Brasil, uma maior preocupação com a redução do consumo de energia elétrica surgiu em 2001, após o país passar por um grave racionamento energético. Neste ano, foi instituída a Lei nº 10.925, regulamentada pelo Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Conhecida como Lei da Eficiência Energética, dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e estabelece “níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas” (SILVA, 2014).

Estima-se que dois terços do potencial mundial de eficiência energética dos setores industriais, de geração de energia, de transporte e de edificações encontra-se inexplorado (GCCE, 2019). No Brasil, um dos setores com maior potencial para economia de energia é o das edificações, seja pela mudança de hábitos dos usuários ou pela melhoria na eficiência dos equipamentos ou das características arquitetônicas (MORISHITA, 2011).

Alguns trabalhos mostram o quanto é possível economizar. O trabalho de Santana (2006) avaliou a influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de escritórios localizados em Florianópolis. Concluiu-se que a troca do sistema de ar condicionado foi o que mais influenciou no consumo de energia, sendo que a diferença de consumo de um sistema mais eficiente para um menos eficiente foi de 25 %. Outros parâmetros que obtiveram resultados expressivos foram o percentual de área de janela na fachada, a absorvância de

paredes e coberturas e a exposição da edificação à radiação solar, com uma variação no consumo que vai de 1 a 15 %.

Já o trabalho de Eli (2017) analisou o uso de medidas de eficiência energética na envoltória de uma edificação multifamiliar de baixa renda localizada na cidade de São Paulo e Salvador. Em São Paulo, as medidas mais satisfatórias foram a redução da absorvância da cobertura e o uso de isolamento nas paredes e cobertura, que resultaram em uma economia de cerca de R\$ 1.140 por ano na fatura de energia. Já em Salvador, foram a redução da absorvância da cobertura e das paredes e o aumento de 75 % nas aberturas para ventilação que resultaram em uma economia de cerca de R\$ 14.700 por ano na fatura de energia.

2.4 Etiquetagem de eficiência energética de edificações

Os primeiros programas de etiquetagem surgiram na década de 1970, quando a França, visando reduzir o consumo desnecessário de eletricidade, tornou obrigatória a etiquetagem de aparelhos de aquecimento, caldeiras, aquecedores de água, geladeiras, lavadoras de roupas, televisores, fogões e lava-louças (WIEL, MCMAHON, 2001). Já para edificações, surgiram na década de 1990 com a Diretiva Europeia e tinham como objetivo obter uma maior transparência no mercado imobiliário, incentivando a economia de energia, reduzindo as emissões de dióxido de carbono e obtendo novos edifícios com melhores condições energéticas (CAMARGO, 2013).

Cada vez mais o mercado tem exigido a adoção de práticas sustentáveis e por isso a busca por essas certificações vem aumentando. Por serem emitidas por instituições dotadas de credibilidade, elas conferem um reconhecimento formal do investimento realizado em sustentabilidade, o que acaba valorizando o empreendimento. Recomenda-se que sejam utilizados sistemas de certificação locais, para que sejam adequados às normas de qualidade, legislação, contexto geográfico e climático do local. No entanto, ainda são poucos os países com sistemas de certificação próprios (SOARES, SANTOS, 2013). Os principais programas da área existentes no Brasil e no mundo são mostrados abaixo.

2.4.1 Programas de etiquetagem pelo mundo

O primeiro programa de certificação ambiental de edificações foi o BREEAM (*Building Research Establishment Environment Assessment Method*) que surgiu no Reino

Unido na década de 1990 e serviu como base para os demais programas do mundo (BARRETO, 2016). Nesse programa, os critérios considerados para avaliar as edificações variam caso seja um empreendimento novo, uma reforma, uma ampliação, somente a envoltória ou somente os interiores dos edifícios ou até *master plans*. As classificações concedidas podem ser dos tipos *unclassified* (não classificável), *acceptable* (aceitável), *pass* (aprovado), *good* (bom), *very good* (muito bom), *excellent* (excelente) e *outstanding* (excepcional) (SOARES, SANTOS, 2013). Até setembro de 2016, quase 550.000 edifícios haviam sido certificados por este programa (NBS, 2016).

Outro programa bastante conhecido na Europa é o alemão DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*) que oferece classificações ouro, prata e bronze. Os critérios considerados por esse programa são os aspectos ecológicos, econômicos, socioculturais e tecnologia (SOARES, SANTOS, 2013). O programa foi criado em 2008 e 1448 empreendimentos foram certificados até 10 de junho de 2019 (DGNB, 2019).

Na Ásia, o principal processo de certificação é o japonês CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*), criado em 2005 e projetado especialmente para as condições culturais e sociais deste país. Possui quatro categorias de avaliação: Eficiência Energética, Eficiência em Recursos, Qualidade do Ambiente Local e Qualidade do Ambiente Interno. As edificações podem obter Classe C (< 0.5), Classe B⁻ (0.5-1.0), Classe B⁺ (1.0-1.5), Classe A (1.5-3.0) e Classe S (≥ 3.0) (SOARES, SANTOS, 2013). Até maio de 2019, 412 edifícios haviam sido certificados pelo CASBEE (CASBEE, 2019).

Em 2014, surgiu o primeiro certificado focado exclusivamente na saúde e no bem-estar humano. Fruto de seis anos de pesquisa envolvendo cientistas, médicos e arquitetos, o *WELL Building Certification* é resultado de uma maior conscientização com saúde mental humana. Considera sete conceitos relacionados à saúde humana no ambiente construído: ar, água, alimentação, luz, aptidão física, conforto e mente. Dessa forma, os usuários de edificações com este certificado podem ter humor, alimentação, padrões de sono e desempenho melhores do que em outras edificações. A certificação WELL é concedida nos níveis Prata, Ouro e Platina (IWBI, 2019).

Uma das certificações mais difundidas no mundo é a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), utilizada atualmente em mais de 160 países. Desenvolvida em 1996, nos Estados Unidos, além de preocupar-se com a questão energética também busca reduzir o impacto ambiental. Funciona através da avaliação de oito dimensões, cada uma com seus pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) que quando atendidos garantem pontos à edificação. A edificação é classificada de acordo com a

quantidade de pontos adquiridos, que pode variar de 40 a 110 pontos e recebe os certificados Prata, Ouro ou Platina (GBC BRASIL, 2019). O Brasil, que teve a LEED ambientada pela Green Council Brasil em 2007, atualmente ocupa a quarta posição no ranking anual dos 10 países com o maior número de projetos LEED (ABESCO, 2018).

Zheng (2013) estudou o desempenho de três edifícios da Universidade da Califórnia (Estados Unidos) após obterem a certificação LEED. Seus resultados mostraram que, em dois dos três casos, os edifícios tiveram um desempenho igual ou melhor que o que havia sido previsto antes de obterem a classificação. Ela concluiu que as simulações pré-LEED podem ser bastante precisas, desde que os dados de ocupação do edifício utilizados no modelo sejam verdadeiros.

No Brasil, utiliza-se também uma adaptação ao francês “*Démarche HQE*” (Haute qualité environnementale), denominada Processo AQUA. Este utiliza 14 critérios para analisar a edificação e foi o primeiro que levou em conta as especificidades do Brasil para elaborar seus critérios, podendo estes serem do tipo bom, superior ou excelente. Para que a edificação seja classificada deve-se ter no mínimo três critérios excelentes e no máximo sete critérios bons (NASCIMENTO, MACIEL, 2010). Desde 2008, quando foi criada, 503 edificações já foram certificadas, totalizando mais de 9,5 milhões de m² de área construída (GOING GREEN BRASIL, 2019).

2.4.2 Programa brasileiro de etiquetagem

No Brasil, o Programa Brasileiro de Edificações (PBE Edifica) faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e foi desenvolvido em 2003 através da parceria ELETROBRAS/PROCEL Edifica (GUERRA, 2016). O programa avalia envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar da edificação. Cada um desses recebe uma etiqueta de eficiência energética, que quando combinadas conferem ao edifício uma classificação única entre “A” (mais eficiente) e “E” (menos eficiente). Com essa classificação, é gerada uma etiqueta chamada de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) (ELETROBRAS, 2017).

A análise do nível de eficiência pode ser feita através do método prescritivo ou do método de simulação, conforme consta nos regulamentos “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas” (RTQ-C), “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência

Energética de Edificações Residenciais” (RTQ-R) e “Requisito de Avaliação da Conformidade para Edificações” (RAC), desenvolvidos pelo PBE Edifica.

O método prescritivo consiste em utilizar equações e tabelas para obter parâmetros de envoltória, iluminação e condicionamento de ar e estabelecer um nível de eficiência. Já o método de simulação consiste em simular modelos computacionais, sendo um edifício real correspondente à edificação que será certificada e um ou mais modelos de referência, baseado no nível de eficiência que pretende-se obter. O nível de eficiência é obtido quando o modelo real apresentar consumo inferior ao modelo de referência (ELETROBRAS, 2017). O processo de etiquetagem pode ser aplicado tanto na etapa do projeto e construção, em que é mais fácil fazer alterações a fim de alcançar uma maior eficiência energética, quanto em edifícios já existentes (ELETROBRAS, 2017).

Entre os trabalhos desenvolvidos na área de etiquetagem de edificações, percebe-se uma preferência pelo estudo da etiquetagem de edificações comerciais, que pode estar relacionada ao fato de que o consumo de edificações comerciais é maior quando comparado ao consumo médio residencial. Também nota-se uma preferência pelo uso do método prescritivo, seja através uso de equações ou de ferramentas online, que provavelmente está relacionado ao fato de que o setor da construção civil é conservador e tradicionalmente contrário a mudanças. De acordo com Eli (2017), o provável motivo para a preferência pelo método prescritivo é que a utilização de um *software* para simulação acaba tornando o processo mais complexo, já que a maior parte dos *softwares* possuem interface pouco amigável, o que faz com que o usuário demore para entender o seu funcionamento. Além de ter uma necessidade de maior conhecimento sobre as variáveis de entrada e saída e como elas influenciam no resultado da simulação. No entanto, a simulação também pode ser mais flexível, já que permite uma maior liberdade de projeto, além da implementação de medidas não previstas no RTQ-C.

Como exemplo tem-se o trabalho de Melo (2017) que analisou o nível de eficiência energética da Faculdade do Gama (FGA) através do método prescritivo descrito no RTQ-C antes e após mudanças propostas nos sistemas de condicionamento de ar e iluminação. Para isso foi utilizado a ferramenta WebPrescritivo, do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE). A edificação obteve a classificação final com o nível C e, após as mudanças, nível A.

De forma diferente, o trabalho de Bottamedi (2011) avaliou a eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis, aplicando tanto o RTQ-C quanto o RTQ-R e ambos pelo método prescritivo e de simulação computacional. O método prescritivo foi feito

com base nas equações e o de simulação foi feito através do *software* EnergyPlus versão 6.0. Em ambos os casos, obteve-se um melhor desempenho da edificação por meio da simulação computacional.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para realizar os objetivos do presente trabalho está descrita na sequência.

3.1 Requisitos técnicos para obtenção da ENCE

Para a classificação da eficiência energética do Bloco A do Campus Blumenau da UFSC, foi utilizado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). O RTQ-C foi lançado em 2009, através da Portaria nº 53 de 27 de fevereiro de 2009 (BRASIL, 2009). Passou por quatro revisões, sendo a última em 18 de março de 2014.

O RTQ-C aplica-se a edifícios comerciais, de serviços e públicos, condicionados, parcialmente condicionados ou não-condicionados, com área útil igual ou superior a 500 m², ou que sejam atendidos por alta tensão (SILVA, 2014). Estabelece que podem ser analisados os sistemas individuais (envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar) e o sistema geral. Para obter a classificação do sistema geral são atribuídos pesos aos sistemas individuais, sendo 30 % o peso da envoltória, 30 % o peso do sistema de iluminação e 40 % o peso do sistema de condicionamento de ar. Mesmo que os sistemas sejam avaliados individualmente, a avaliação da envoltória é obrigatória (INMETRO, 2010).

Podem ser utilizados dois métodos para determinar a eficiência, o método prescritivo e o método de simulação. A classificação geral poderá ser obtida após a avaliação de cada um dos três sistemas, desde que as avaliações parciais tenham sido realizadas a partir de uma das combinações apresentadas na Tabela 1 (INMETRO, 2010).

Tabela 1 – Combinações de métodos de avaliação para obtenção da Classificação Geral

Envoltória	Sistema de Iluminação	Sistema de Condicionamento de Ar	Ventilação Natural
Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

Fonte: Inmetro (2010).

Assim, caso a envoltória tenha sido classificada pelo método prescritivo e deseje-se obter a classificação geral, deve-se classificar o sistema de iluminação e o de condicionamento de ar também pelo método prescritivo (INMETRO, 2010). Destaca-se que o método de simulação é a única maneira de analisar edificações que contam apenas com ventilação natural, motivo pelo qual este deveria ser mais difundido.

Ambos os métodos devem atender aos pré-requisitos gerais dos sistemas. Devem possuir circuito elétrico separado por uso final (iluminação, sistema de condicionamento de ar e outros) ou possuir instalado equipamento que possibilite medição por uso final. Além disso, edificações com elevada demanda de água quente, em que a parcela de água quente represente um percentual igual ou maior a 10 % do consumo de energia, devem apresentar uma estimativa da demanda de água quente. Também deve ser comprovado que as tubulações metálicas para água quente possuem isolamento térmico com espessura mínima, de acordo com o determinado pelo RTQ-C (ELETROBRAS, 2017).

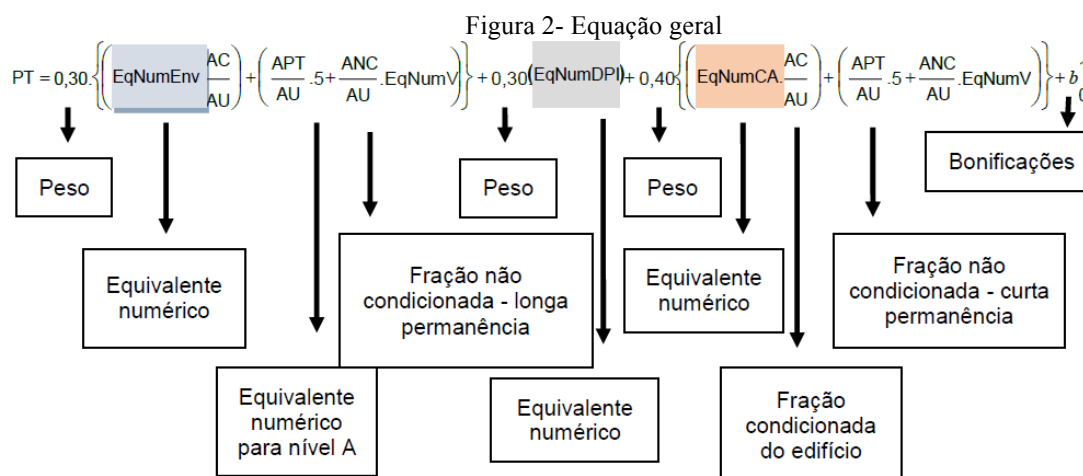
A fim de aumentar a eficiência da edificação, existem bonificações que podem elevar em até um ponto a classificação geral. Alguns exemplos são sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água; sistemas ou fontes renováveis de energia, como aquecimento solar, energia eólica ou módulos fotovoltaicos; e sistemas de cogeração e inovações técnicas (ELETROBRAS, 2017).

Ao final da análise, é possível obter a etiqueta ENCE, que classifica a edificação entre A (mais eficiente) e E (menos eficiente). A ENCE poderá ser fornecida tanto no projeto da edificação, na edificação pronta ou após reforma, conforme mostrado no anexo A (ELETROBRAS, 2017).

3.1.1 Método prescritivo

O método prescritivo é um procedimento analítico no qual são aplicadas equações que têm como entrada informações referente às características da envoltória (arquitetônicas/construtivas), iluminação e condicionamento de ar (BARRETO, 2016). Em edificações onde o Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAF_T) é elevado, os vidros possuem alto desempenho e/ou os elementos de sombreamento diferem por orientação, é recomendado utilizar o método de simulação ou ferramentas de simulação simplificadas (INMETRO, 2010).

Para este método, a classificação geral do edifício é dada pela Equação geral apresentada na Figura 2.



Fonte: Eletrobras (2017).

Onde:

PT = pontuação

$EqNumEnv$ = equivalente numérico da envoltória;

$EqNumDPI$ = equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;

$EqNumCA$ = equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

$EqNumV$ = equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT = área útil dos ambientes de permanência transitória não condicionados;

ANC = área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;

AC = área útil dos ambientes condicionados;

AU = área útil;

B = pontuação obtida pelas bonificações variando de 0 a 1.

Os equivalentes numéricos para os níveis de eficiência de cada sistema individual são obtidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

A	B	C	D	E
5	4	3	2	1

Fonte: Inmetro (2010).

O número de pontos obtidos na Equação geral da Figura 2 irá definir a classificação geral da edificação, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação geral

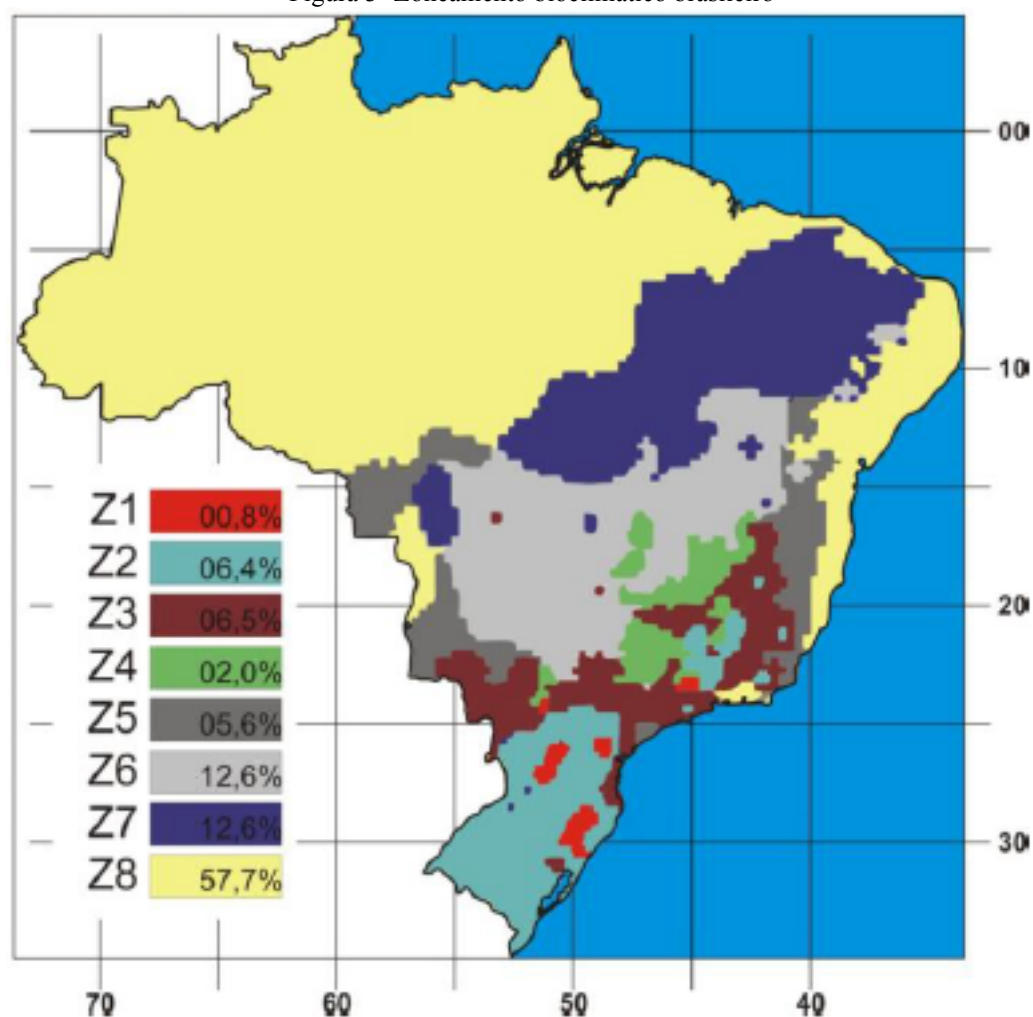
PT	Classificação Final
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: Inmetro (2010).

3.1.1.1 Classificação da eficiência energética da envoltória

Para a análise da envoltória, além dos pré-requisitos gerais, devem ser atendidos alguns pré-requisitos específicos, de acordo com o nível de eficiência desejado e com a zona climática na qual a edificação está inserida. Segundo a NBR 15220-3, o Brasil está dividido em 8 zonas bioclimáticas, sendo que o Campus Blumenau da UFSC está localizado na zona bioclimática 3, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3- Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Eletrobras (2017).

A Tabela 4 mostra uma síntese dos pré-requisitos.

Tabela 4 –Pré-requisitos da envoltória que devem ser atendidos por nível de eficiência

Nível de Eficiência	Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Cores e absorvância de superfícies	Iluminação zenital
A	x	x	x
B	x	x	
C e D	x		

Fonte: Eletrobras (2017).

A Tabela 5 especifica os pré-requisitos da transmitância térmica da cobertura e das paredes exteriores na zona bioclimática 3. A transmitância térmica (U) ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) refere-se à transmissão de calor por unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo. Pode ser calculada através do inverso da resistência térmica total do elemento construtivo, conforme detalhado na NBR15220 – 2 (ABNT, 2005).

Tabela 5 – Pré-requisitos da transmitância térmica para a zona bioclimática 3

Nível de Eficiência	Transmitância térmica da cobertura ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)		Transmitância térmica de paredes exteriores ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
	Ambientes condicionados artificialmente	Ambientes não condicionados	
A	1,0	2,0	3,7
B	1,5	2,0	3,7
C e D	2,0	2,0	3,7

Fonte: A autora.

Para obter a etiqueta A, é obrigatório a utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorptância solar baixa, inferior a 0,5 do espectro solar. A absorptância solar (α), é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Ou seja, se um elemento possui 0,5 de absorptância, ele irá absorver 50 % da radiação solar incidente e refletir os outros 50 %. Quanto mais clara a cor, mais baixa a absorptância. Para as etiquetas B, C e D não há pré-requisito quanto a absorptância das paredes. Para obter a etiqueta A ou B, também é necessário utilizar coberturas com absorptância solar baixa, inferior a 0,5 do espectro solar, exceto para telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água. Os níveis C e D não possuem pré-requisito quanto a absorptância das coberturas (INMETRO, 2010).

Caso haja aberturas zenitais, quanto maior o percentual de abertura zenital (PAZ), menor deve ser o fator solar (FS), ou seja, a razão entre o ganho de calor que entra num ambiente através de uma abertura e a radiação solar incidente nesta mesma abertura. A Tabela 6 mostra a relação entre PAZ e FS. Para edificações com PAZ maior que 5 %, pretendendo alcançar classificação A, deve-se utilizar simulação computacional (INMETRO, 2010).

Tabela 6 – Relação entre Percentual de Aberturas Zenital e Fator Solar

PAZ	FS
0 a 2 %	0,87
2,1 a 3 %	0,67
3,1 a 4 %	0,52
4,1 a 5 %	0,30

Fonte: Inmetro (2010).

Para determinar a eficiência da envoltória, existem duas equações, uma para edifícios com área de projeção (A_{pe}) menor que 500 m² e outra para edifícios com A_{pe} maior que 500 m². No caso desse trabalho é válido o segundo caso. As equações foram desenvolvidas de acordo com as zonas bioclimáticas e para a zona bioclimática 3 com $A_{pe} > 500$ m² utiliza-se a Equação (1). Para essa equação, o Fator de Forma (A_{env}/V_{tot}) mínimo permitido é de 0,15.

$$IC_{env} = -14,14 \times FA - 113,94 \times FF + 50,82 \times PAF_T + 4,86 \times FS - 0,32 \times AVS + 0,26 \times AVS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 \times PAF_T \times AHS + 277,98 \quad (1)$$

Onde:

IC_{env} = Indicador de consumo da envoltória

AVS = Ângulo Vertical de Sombreamento, entre 0 e 45°;

AHS = Ângulo Horizontal de Sombreamento, entre 0 e 45°;

FF = (A_{env}/V_{tot}), Fator de Forma;

FA = (A_{pcob}/A_{tot}), Fator Altura;

FS = Fator Solar;

PAF_T = Percentual de Abertura na Fachada total;

Além do IC_{env} , devem ser calculados dois indicadores de consumo, o indicador de consumo máximo ($IC_{máxD}$) e o indicador de consumo mínimo ($IC_{mín}$). Para o cálculo do IC_{env} utiliza-se os dados de projeto do edifício, exceto quando AHS ou AVS for maior que 45°, caso em que deve-se usar 45° no cálculo, ou quando o Fator de Forma excede os limites de cada equação. Para o cálculo do $IC_{máxD}$ e do $IC_{mín}$, utiliza-se a mesma equação com os mesmos dados de FF e FA utilizados no cálculo do IC_{env} . Porém, para o $IC_{máxD}$ considera-se

PAF_T igual a 0,60, FS igual a 0,61, AVS igual a zero e AHS igual a zero e para o IC_{mín} usa-se PAF_T igual a 0,05, FS igual a 0,87 e os AVS e AHS são zero.

A determinação dos limites de eficiência da envoltória é realizada através dos IC_{máxD} e IC_{mín}, como mostra a Equação (2). Com o valor de *i* calculado, preenche-se a Tabela 7 e determina-se o nível de eficiência da envoltória, comparando o IC_{env} com os limites da tabela.

$$i = \frac{IC_{máxD} - IC_{mín}}{4} \quad (2)$$

Tabela 7 – Limite dos intervalos dos índices de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite máximo	-	IC _{máxD} - 3i + 0,01	IC _{máxD} - 2i + 0,01	IC _{máxD} - i + 0,01	IC _{máxD}
Limite mínimo	IC _{máxD} - 3i	IC _{máxD} - 2i	IC _{máxD} - i	IC _{máxD}	-

Fonte: Inmetro (2010).

3.1.1.2 Classificação da eficiência energética do sistema de iluminação

Para a análise do sistema de iluminação devem ser atendidos alguns pré-requisitos específicos. Cada ambiente fechado até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo manual para o acionamento independente da iluminação do ambiente e este deve ser visível e de fácil acesso. Além disso, ambientes com aberturas voltadas para o ambiente externo, para átrio não coberto ou com cobertura translúcida e que contenham mais de uma fileira de luminárias, devem possuir um sistema de controle que permita o acionamento independente da fileira mais próxima à abertura, garantindo o aproveitamento da luz natural. Por fim, o sistema de iluminação de ambientes com área superior a 250 m² deverá possuir um dispositivo de controle automático para desligar a iluminação.

A avaliação do sistema de iluminação pode ser realizada através do método da área do edifício ou do método das atividades do edifício. O método da área do edifício avalia todos os ambientes do edifício simultaneamente e deve ser utilizado para edifícios com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem 30 % ou mais da área do edifício. O método das atividades do edifício avalia separadamente os ambientes do edifício e deve ser utilizado quando o método anterior não for aplicável.

Para determinar a eficiência através do método da área do edifício deve-se identificar a atividade principal do mesmo e a respectiva densidade de potência de iluminação limite ($DPI_L - W/m^2$) para cada nível de eficiência de acordo com a Tabela 4.1 do RTQ-C (INMETRO, 2010). Em seguida, deve-se determinar a área iluminada e encontrar a potência limite do edifício multiplicando a área iluminada pela DPI_L . Para edifícios caracterizados por até três atividades principais determina-se a DPI_L e a área iluminada para cada atividade. A potência limite para o edifício será a soma de cada potência limite. Por fim, para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação, deve-se comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite.

Já através do método das atividades do edifício, deve-se identificar as atividades presentes no edifício e a DPI_L para cada nível de eficiência para cada atividade, de acordo com a Tabela 4.2 do RTQ-C (INMETRO, 2010). Em seguida, deve-se encontrar a potência limite para cada atividade multiplicando a área iluminada de cada uma delas pela DPI_L . A potência limite para o edifício será a soma das potências limites das atividades. Por fim, para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação, deve-se comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite.

3.1.1.3 Classificação da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar

Para a análise do sistema de condicionamento de ar, existe pré-requisito apenas para nível de eficiência A. Este pode ser visto nas Tabelas 5.1 e 5.2 do RTQ-C, que contêm as espessuras mínimas para isolamento de tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração, respectivamente.

Para aparelhos utilizados para condicionamento que possuem eficiência conhecida, ou seja, condicionadores de ar do tipo janela e tipo split com eficiência avaliada pelo PBE/Inmetro e que estão de acordo com as normas brasileiras e/ou internacionais de condicionadores de ar, a classificação da ENCE deve ser obtida nas tabelas do PBE/Inmetro, apresentadas na Figura 4 e na Figura 5 e deve-se identificar o equivalente numérico na Tabela 2 da seção 3.1.1. Em ambientes que possuem aparelhos com diferentes níveis de eficiência, o nível de eficiência final do sistema de condicionamento de ar é o resultado da ponderação do EqNumCA de cada equipamento pela sua capacidade, seguida da ponderação do EqNumCA de cada ambiente pela sua área.

Figura 4- Índices de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar *Split Hi-Wall*

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL				Data atualização: 14/8/2018			
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall				
			Rotação Fixa		Rotação Variável		
A	3,23	<CEE	390	42,5%	336	92,3%	
B	3,02	<CEE≤ 3,23	182	19,8%	22	6,0%	
C	2,81	<CEE≤ 3,02	276	30,1%	6	1,6%	
D	2,60	≤CEE≤ 2,81	70	7,6%	0	0,0%	

Fonte: Inmetro (2019).

Figura 5- Índices de eficiência dos sistemas de condicionamento de ar *Split Piso-Teto*

CONDICIONADORES DE AR SPLIT PISO-TETO				Data atualização: 5/5/2017			
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Piso-Teto				
			Rotação Fixa		Rotação Variável		
A	3,23	<CEE	29	7,8%	4	16,7%	
B	3,02	<CEE≤ 3,23	57	15,4%	17	70,8%	
C	2,81	<CEE≤ 3,02	164	44,2%	3	12,5%	
D	2,60	≤CEE≤ 2,81	121	32,6%	0	0,0%	

Fonte: Inmetro (2019).

Caso os condicionadores não sejam etiquetados pelo PBE/INMETRO, devem atender os requisitos mínimos de eficiência apresentados no item 5.4 do RTQ-C (INMETRO, 2010) para obterem o nível A de eficiência energética.

3.1.2 Método de simulação

O método de simulação é recomendado quando a simplicidade do método prescritivo não descreve adequadamente as características do edifício. Alguns exemplos são casos com ventilação natural, proteções solares projetadas para algum caso específico, como proteções com aletas que reflitam a luz para dentro do ambiente, grandes áreas envidraçadas com vidros de elevado desempenho térmico e luminoso, sistemas de condicionamento não previstos como pisos radiantes e especificidades do projeto de condicionamento de ar, como opções de automação ou resfriamento evaporativo (LAMBERTS, CARLO, 2010).

O método de simulação consiste em utilizar um *software* para comparar o desempenho termoenergético da edificação real com edificações de referência. O modelo da edificação real deve conter todas as características do edifício avaliado e o modelo da edificação de referência deve ser semelhante ao modelo real, porém com as características do nível de eficiência pretendido. Para se obter o nível de eficiência desejado, a simulação do consumo do edifício real deve ser menor ou igual à simulação do consumo do edifício de referência (ELETROBRAS, 2017).

O RTQ-C estipula alguns requisitos para o programa computacional de simulação e o arquivo climático. O programa computacional deve, entre outros requisitos, ser validado pela *ASHRAE Standard 140*, modelar 8760 horas por ano, modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação, equipamentos e sistemas de ar condicionado, modelar efeitos de inércia térmica, permitir a modelagem de multi-zonas térmicas e produzir relatórios horários do uso final de energia. Já o arquivo climático deve fornecer os valores horários para todos os parâmetros requeridos pelo programa computacional. Além disso, os dados climáticos adotados para a simulação devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto está localizado e a utilização destes arquivos deve estar dentro dos formatos publicados no www.eere.energy.gov (INMETRO, 2010).

Para o caso em que se deseja apenas uma etiqueta parcial, deve ser feita a simulação de acordo com o desejado. Por exemplo, apenas do sistema de envoltória ou da envoltória com sistema de iluminação ou ainda da envoltória com sistema de condicionamento de ar. O sistema de condicionamento de ar neste último caso deve atender às Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3 do RTQ-C (INMETRO, 2010).

Para a simulação, alguns parâmetros e variáveis do modelo da edificação de referência, são definidos por meio do método prescritivo. A Tabela 8 apresenta o resumo das características que devem apresentar tanto o modelo real como cada um dos modelos de referência. O PAF_T do modelo de referência deve ser obtido a partir do limite máximo do IC para obtenção da etiqueta do nível desejado, conforme Tabela 7 vista na seção 3.1.1.1 (ELETROBRAS, 2017).

Tabela 8 – Síntese das características do Modelo Real e do Modelo de Referência.

Característica do edifício	Modelo de Referência	Modelo Real
Geometria - dimensões	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Orientação	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Padrão de uso: Equipamentos e Pessoas	Igual ao edifício proposto	Igual ao edifício proposto
Sistemas de condicionamento de ar	Igual ao edifício proposto com COP mín. do nível desejado	Igual ao edifício proposto
PAZ	Se existe no real --> PAZ = 2 %	Igual ao edifício proposto
PAF _T	Calcular pelo IC	Igual ao edifício proposto
AVS e AHS	AVS = AHS = 0	Igual ao edifício proposto
Tipo de vidro	Vidro simples, 3mm	Igual ao edifício proposto
Fator solar	FS = 0,87	Igual ao edifício proposto
Transmitância térmica	Máx. p/ eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Absortância Solar	Máx. p/ eficiência desejada	Igual ao edifício proposto
Sistema de iluminação	DPI máx. p/eficiência desejada - tabela 4.1 do RTQ-C	Igual ao edifício proposto

Fonte: Eletrobras (2017).

Após comparar o modelo real com os modelos de referência, o equivalente numérico de simulação ($EqNumS$) deverá ser determinado através da Tabela 2. A pontuação total obtida através da Equação (3) irá definir a classificação geral da edificação de acordo com os limites estabelecidos na Tabela 3 (INMETRO, 2010).

$$PT = EqNumS + b_0^1 \quad (3)$$

Onde:

PT = Pontuação total

$EqNumS$ = equivalente numérico obtido através da simulação;

b = pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1.

Nos edifícios que possuem sistema de condicionamento de ar e ventilação natural, o $EqNumV$ deve ser maior ou igual ao $EqNumS$. Caso esta condição não seja atendida, a classificação final é dada pelo $EqNumV$. Edifícios que possuem apenas ventilação natural devem utilizar a Equação geral da Figura 2 para obtenção da Pontuação Total (INMETRO, 2010).

Para edifícios naturalmente ventilados ou com áreas de longa permanência não condicionadas, deve-se comprovar que essas áreas forneçam temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas. A Tabela 9 indica o equivalente numérico a ser usado na Equação geral (INMETRO, 2010).

Tabela 9 – equivalentes numéricos para ventilação natural

Percentual de horas ocupadas em conforto (POC)	EqNumV	Classificação final
$POC \geq 80 \%$	5	A
$70 \% \leq POC < 80 \%$	4	B
$60 \% \leq POC < 70 \%$	3	C
$50 \% \leq POC < 60 \%$	2	D
$POC < 50 \%$	1	E

Fonte: Inmetro (2010).

Os *softwares* mais conhecidos para avaliar medidas de eficiência energética em edificações são o *EnergyPlus*, o *eQUEST* e o *DOMUS*. O *EnergyPlus* é um *software* desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (em inglês *Department of Energy*, DOE) para avaliar o desempenho energético dos edifícios. Através dos dados inseridos pelo usuário, é feita a simulação, que pode ter como resultados a demanda de resfriamento ou aquecimento dos ambientes, sua capacidade de ventilação natural, iluminação ou cálculo das cargas térmicas, por exemplo. O *eQUEST* é um *software* gratuito e de fácil utilização, também desenvolvido pelo DOE. Com ele é possível inserir as características físicas, ocupacionais e de localização da edificação, e obter o cálculo do consumo de energia da mesma. O *software* *DOMUS* é semelhante ao *eQUEST* e ao *EnergyPlus*, porém ainda calcula a classificação da edificação quanto sua eficiência energética, segundo o PBE Edifica. Foi desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas Térmicos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Neste trabalho optou-se por utilizar o *EnergyPlus*, um *software* completo e complexo, mas reconhecido e indicado para a avaliação do desempenho energético de edificações em que deseja-se obter a ENCE.

3.2 Edificação estudada

A edificação em estudo é o Bloco A do Campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) localizado na Rua João Pessoa, 2750, Velha, em Blumenau. O campus foi inaugurado em 17 de março de 2014, e passou a funcionar na atual sede em setembro de 2015. Abriga os cursos de graduação em Engenharia Têxtil, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia de Materiais, Licenciatura em Matemática e Licenciatura em Química, além dos cursos de pós graduação em Nanociência, Processos e Materiais Avançados, Engenharia Têxtil, Matemática e Física. O campus é composto por três blocos, sendo dois acadêmicos (Bloco A e Bloco B) e um administrativo (Bloco C) e funciona de segunda a sexta-feira, das 7:30 às 22 h. Os blocos acadêmicos totalizam 4982 m², sendo 2277 m² dispostos em 4 andares no Bloco A e 2705 m² dispostos em 2 andares no Bloco B. A fachada principal do Bloco A pode ser vista na Figura 6. Neste trabalho, será analisado o Bloco A, onde são ministradas as aulas dos cursos de graduação e desenvolvidas as demais atividades de ensino, pesquisa e extensão. Atualmente, são 1133 estudantes matriculados nos cursos de graduação, 106 professores e 53 técnicos-administrativos em educação.

Figura 6- Fachada do Bloco A do Campus UFSC Blumenau



Fonte: UFSC (2018).

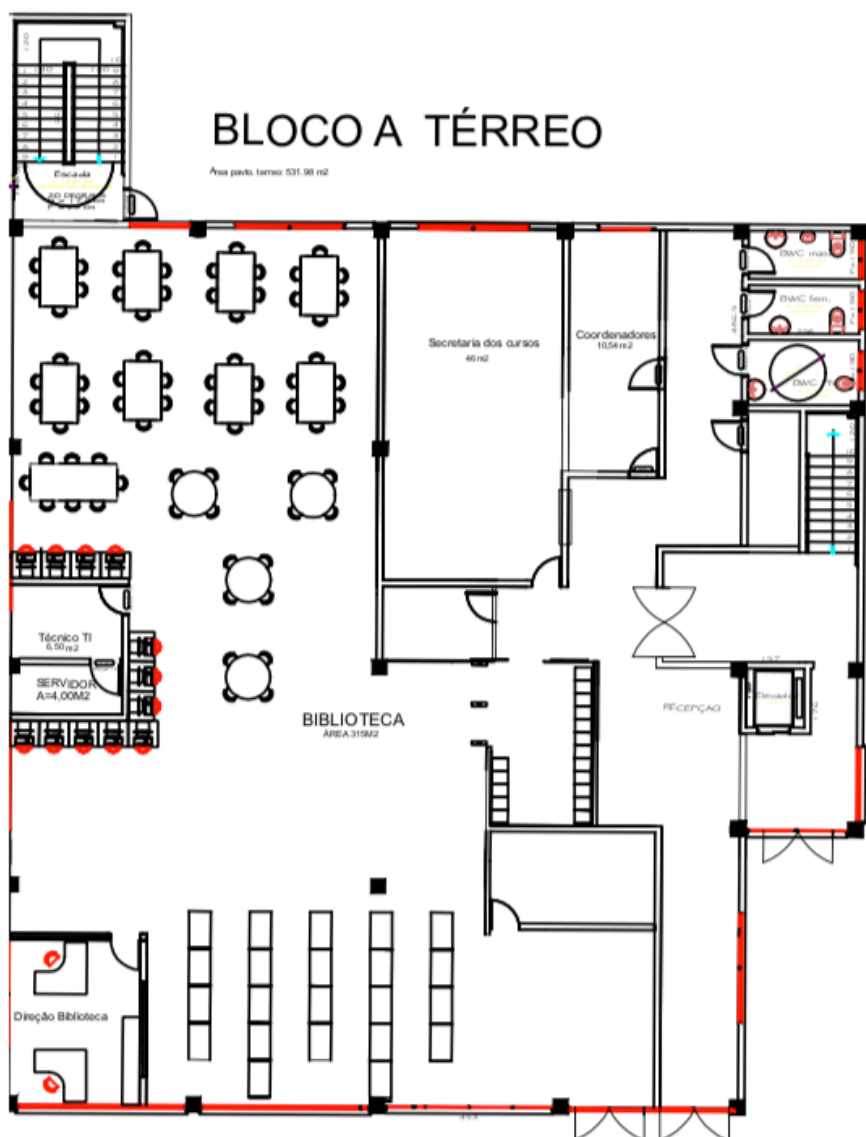
4 RESULTADOS

Nas próximas sub seções serão apresentados os resultados encontrados no presente trabalho.

4.1 Avaliação da eficiência energética pelo método prescritivo

Para a determinação da eficiência energética, além de utilizar informações coletadas *in loco*, também foram utilizados os dados do projeto arquitetônico. A Figura 7 mostra a planta baixa do andar térreo e os demais andares encontram-se no apêndice A.

Figura 7- Planta baixa do Bloco A



Fonte: A autora.

4.1.1 Envoltória

Para o cálculo da eficiência da envoltória, primeiramente calculou-se o Percentual de Abertura na Fachada total (PAF_T). Entende-se por abertura todas as áreas da envoltória do edifício com fechamento translúcido ou transparente, ou seja, que permitem a passagem de luz. São exemplos janelas, claraboias e portas de vidro. A Tabela 10 mostra as áreas equivalentes à envoltória e áreas de abertura do Bloco A. Pode ser observado que a fachada leste possui as maiores áreas de abertura.

Tabela 10 – Áreas equivalentes à envoltória e áreas de abertura

Fachada	Área (m ²)	Área de abertura (m ²)
Norte	473,01	41,94
Sul	473,01	50,37
Leste	360,85	227,70
Oeste	360,85	51,21
Cobertura	544,33	-
Total	2212,05	371,22

Fonte: A autora.

Além disso, também calculou-se o Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste (PAF_O), visto que, caso este seja pelo menos 20 % maior que o PAF_T , deve-se adotá-lo no cálculo do IC_{env} . Isso se deve ao fato de que no hemisfério sul, a fachada oeste recebe maior incidência de calor, pois é banhada pelo sol do meio-dia ao por do sol. No Bloco A, o PAF_O corresponde a 14,19 % e o PAF_T , 22,26 %.

Os ângulos de sombreamento utilizados no cálculo do IC_{env} são resultado da média ponderada do ângulo de sombreamento em função da área das aberturas. Como a edificação em estudo não possui proteções solares verticais, não há Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS). Quanto à proteções solares horizontais, há presença de uma proteção de 1,9 metros de comprimento apenas em duas aberturas na fachada leste, que serão chamadas de abertura 1 e abertura 2. Para o cálculo do Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), primeiro encontra-se o AVS da fachada, conforme Equação (4), e depois o da edificação, conforme Equação (5). Tem-se que $AVS_N = AVS_S = AVS_O = 0$ e $AVS_1 = AVS_2 = 32,96^\circ$. Logo,

$$AVS_L = \frac{AVS_1 \times A_{abertura1} + AVS_2 \times A_{abertura2}}{A_{aberturaL}} \quad (4)$$

$$AVS_L = \frac{32,96^\circ \times 15,03 + 32,96^\circ \times 7,22}{227,7}$$

$$AVS_L = 3,22^\circ$$

Logo,

$$AVS = \frac{AVS_N \times Aabertura_N + AVS_S \times Aabertura_S + AVS_O \times Aabertura_O + AVS_L \times Aabertura_L}{Aabertura} \quad (5)$$

$$AVS = 1,97^\circ$$

O Fator de Forma (FF) é a razão entre a área da envoltória e o volume do edifício e corresponde a 0,07. Como o limite de forma mínimo é 0,15, ele será adotado no cálculo. O Fator Altura (FA) é a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída e corresponde a 0,25. Por fim, segundo Lamberts (2011), o Fator Solar (FS) do vidro simples de 3,00 mm é 0,87.

Com esses dados é possível calcular os indicadores de consumo da envoltória. Para o Bloco A, $IC_{env} = 33,91$, $IC_{máxD} = 52,46$ e $IC_{mín} = 25,77$. Com base na Tabela 7 da seção 3.1.1.1, verifica-se que o nível de eficiência da envoltória é B, desde que cumpridos os pré requisitos: transmitância térmica (U) de paredes e cobertura, cores e absorvância (α) de superfícies e iluminação zenital do edifício.

Como a edificação não dispõe de aberturas zenitais, apenas os outros dois pré-requisitos precisam ser analisados. As propriedades térmicas e os dados e especificações dos materiais construtivos foram obtidos na NBR 15220. Durante a visita *in loco*, constatou-se que a cobertura é composta por telhas de fibrocimento, no entanto, não se teve acesso ao memorial descritivo da obra. Considerou-se então que a cobertura é de telha de fibrocimento com laje de concreto de 20 cm e que a parede é constituída por tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão. Como essas considerações influenciam apenas na análise dos pré-requisitos, acredita-se que não irão prejudicar os resultados.

As características térmicas das paredes foram obtidas na tabela D3 da NBR 15220. Para “Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão”, $U = 2,28 \text{ W/m}^2\text{K}$. Já para a cobertura, as características térmicas foram encontradas na tabela D4 da NBR 15220. Para “Cobertura de telha de fibrocimento com laje de concreto de 20 cm”, $U = 1,99 \text{ W/m}^2\text{K}$. As absorvâncias térmicas foram encontrada na tabela B2 da NBR 15220. No Bloco A, a cor da pintura externa se aproxima do tom vermelho bordô, portanto utilizou-se como referência o valor tabelado de $\alpha = 0,74$, correspondente ao vermelho tradicional. Já as telhas de fibrocimento, possuem pintura branca com $\alpha = 0,20$.

Logo, de acordo com a seção 5.1.1.1, não há o cumprimento dos pré requisitos de transmitância térmica da cobertura e absorvância solar das paredes e o nível final de eficiência energética da envoltória para o Bloco A é C.

Além do cálculo manual, para questões de conferência também foi utilizada a ferramenta Webprescritivo, disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE). Os resultados podem ser vistos na Figura 8.

Figura 8- Simulação da Envoltória do Bloco A no Webprescritivo

Fonte: A autora, adaptado de Webprescritivo.

4.1.2 Condicionamento de ar

Para a avaliação do sistema de condicionamento de ar, verificou-se *in loco* que a edificação possui condicionadores de ar do tipo *Split Hi-Wall* e do tipo *Split Piso-Teto* e todos possuem isolamento térmico nas tubulações do sistema. O levantamento dos equipamentos de ar condicionado instalados na edificação é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Sistemas de condicionamento de ar – Bloco A

(continua)

Cômodo	Quantidade	Tipo	Capacidade (Btu/h)	COP (W/W)	Classificação	Equivalente Numérico
Biblioteca	2	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
	3	<i>Split Piso-Teto</i>	48000	3,12	B	4
Secretaria dos cursos	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Sala dos Coordenadores	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5

Tabela 11 – Sistemas de condicionamento de ar – Bloco A

(conclusão)

Direção Biblioteca	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Direção	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Salas de aula	45	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
	6	<i>Split Hi-Wall</i>	12000	3,39	A	5
Assistência Estudantil	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Salas dos professores	2	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Serviços Gerais	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Salas de monitoria	2	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Servidores	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5
Sala de TI	1	<i>Split Hi-Wall</i>	9000	3,24	A	5

Fonte: A autora.

Para obter a classificação da edificação é necessário ponderar as eficiências de cada equipamento pela capacidade. Para isso, conforme o Exemplo 5.2 do Manual para Aplicação do RTQ-C (ELETROBRAS, 2017), calcula-se o coeficiente de ponderação através da Equação 6 e obtêm-se o resultado ponderado através da Equação 7.

$$CP = \frac{c}{ct} \quad (6)$$

Onde:

 CP = Coeficiente de Ponderação de cada cômodo C = Capacidade (Btu/h) de cada cômodo Ct = Soma da capacidade de cada equipamento

$$RP = CP \times EqNum \quad (7)$$

Onde:

 RP = Resultado Ponderado CP = Coeficiente de Ponderação $EqNum$ = Equivalente numérico de eficiência

Logo, obtém-se o resultado ponderado de 4,81, como mostra a Tabela 12. Com esse resultado, de acordo com a Tabela 3 da seção 3.1.1, determina-se a classificação final do condicionamento de ar, que equivale ao nível de eficiência A.

Tabela 12 – Determinação da eficiência do sistema de condicionamento de ar do Bloco A

Cômodo	Capacidade total (Btu/h)	Classificação	Equivalente Numérico	Coefficiente de Ponderação	Resultado Ponderado
Biblioteca	18000	A	5	0,02	0,12
	144000	B	4	0,19	0,77
Secretaria dos cursos	9000	A	5	0,01	0,06
Sala dos Coordenadores	9000	A	5	0,01	0,06
Direção Biblioteca	9000	A	5	0,01	0,06
Direção	9000	A	5	0,01	0,06
Salas de aula	405000	A	5	0,54	2,71
	72000	A	5	0,10	0,48
Assistência Estudantil	9000	A	5	0,01	0,06
Salas dos professores	18000	A	5	0,02	0,12
Serviços Gerais	9000	A	5	0,01	0,06
Salas de monitoria	18000	A	5	0,02	0,12
Servidores	9000	A	5	0,01	0,06
Sala de TI	9000	A	5	0,01	0,06
Total	747000	-	-	1	4,81

Fonte: A autora.

4.1.3 Iluminação

Para a avaliação da iluminação foram determinadas quais são as atividades principais da edificação que constam na Tabela 4.1 do RTQ-C. Verificou-se que as atividades principais são "Escola/Universidade" e "Biblioteca", com 86,2 % e 13,8 % da área, respectivamente. Assim, como a edificação conta com até três atividades principais, escolheu-se utilizar o método da área do edifício.

De acordo com a Tabela 4.1 do RTQ-C, a Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPI_L) para “Biblioteca” é de 12,7 W/m², 14,6 W/m², 16,5 W/m² e 18,4 W/m² para os níveis de eficiência A, B, C e D, respectivamente. Já para “Escola/Universidade”, a DPI_L é de 10,7 W/m², 12,3 W/m², 13,9 W/m² e 15,5 W/m² para os níveis de eficiência A, B, C e D, respectivamente.

Por meio do levantamento feito *in loco*, foi constatado que a iluminação do Bloco A é composta majoritariamente por lâmpadas LED do tipo tubular T8, com exceção dos banheiros que possuem lâmpadas fluorescentes. A potência total instalada no edifício pode ser vista na Tabela 13.

Tabela 13 – Sistema de iluminação – Bloco A

Cômodo	Quantidade total de luminárias	Potência das luminárias (W)	Potência total (W)
Biblioteca	56	36	2016
Banheiros	17	60	1020
Secretaria dos cursos	3	36	108
Sala dos Coordenadores	2	36	72
Direção Biblioteca	4	36	144
Técnico TI	1	36	36
Servidor	1	36	36
Corredores	50	36	1800
Recepção	2	36	72
Escadas	12	36	432
Direção	1	36	36
Monitorias	4	36	144
Vestuário	2	36	72
Serviços Gerais	1	36	36
Salas de aula	250	36	9000
Assistência Estudantil	3	36	108
Salas dos professores	9	36	324
Copa Professor	2	36	72
Copa	2	36	72
Atendimento estudantil	3	36	108
Total			15708

Fonte: A autora.

Sabendo a área total iluminada, obtêm-se os resultados da Tabela 14, com a potência instalada limite para cada setor e o total para cada nível de eficiência.

Tabela 14 – Potência limite instalada para cada nível de eficiência – Bloco A

Setor	Área (m ²)	Potência limite - Nível A (W)	Potência limite - Nível B (W)	Potência limite - Nível C (W)	Potência limite - Nível D (W)
Biblioteca	315	4000,5	4599	5197,5	5796,0
Escola/Universidade	1912	20458,4	23517,6	26576,8	29636,0
Total		24458,9	28116,6	31774,3	35432,0

Fonte: A autora.

Comparando a potência total da edificação de 15708 W com a potência limite total conclui-se que esta é menor que a potência limite do Nível A, logo, o nível de eficiência de iluminação é A. No entanto, essa eficiência é limitada pelo não cumprimento dos pré-requisitos de aproveitamento da luz natural e de desligamento automático em ambientes com área superior a 250 m² (biblioteca), resultando no nível de eficiência C, conforme mostra a simulação no Webprescritivo na Figura 9.

Figura 9- Simulação da Iluminação do Bloco A no Webprescritivo

Iluminação

Por áreas do edifício Por atividades do edifício

Pré-Requisitos de todos os ambientes:

Divisão de circuitos Atende Não atende

Contribuição da luz natural Atende Não atende Não se aplica

Desligamento automático Atende Não atende Não se aplica

	Atividade	Nº. de Unidades	Pré-Requisitos por ambientes			Potência [W]	Área [m ²]
			Divisão de circuitos	Contribuição da luz natural	Desligamento automático		
1	Biblioteca	1	Atende	Não atende	Não atende	2016	315
2	Escola/Universidade	1	Atende	Não atende	Não se aplica	13692	1912

Calcular Eficiência Limpar

C

* Desde que observados os pré-requisitos de divisão dos circuitos

Fonte: A autora, adaptado de Webprescritivo.

4.1.4 Nível de eficiência geral da edificação

Para a obtenção da classificação geral do nível de eficiência da edificação, primeiramente verificou-se o cumprimento dos pré-requisitos gerais. O primeiro diz que a edificação deve possuir circuitos separados por uso final. No entanto, a edificação em estudo é exceção, já que possui múltiplas unidades autônomas de consumo, com um medidor de energia por unidade consumidora, impedindo a existência de um quadro geral com circuitos separados por uso final. O segundo pré-requisito diz respeito ao aquecimento de água e também não se aplica a edificação em estudo, já que esta não possui elevada demanda de água

quente. O último pré-requisito refere-se ao isolamento de tubulações metálicas para água quente e também não se aplica neste caso. A edificação também não possui soluções que deem direito a bonificações. De acordo com os pressupostos têm-se que:

EqNumEnv = Nível de Eficiência C = 3

EqNumDPI = Nível de Eficiência C = 3

EqNumCA = Nível de Eficiência A = 5

Assim, utilizando a Equação geral da Figura 2, obteve-se a classificação geral da edificação:

$$PT = 0,30 \times \left\{ \left(3 \times \frac{1441,26}{2164,97} \right) + \left(\frac{723,71}{2164,97} \times 5 \right) \right\} + 0,30 \times 3 + 0,40 \times \left\{ \left(5 \times \frac{1441,26}{2164,97} \right) + \left(\frac{723,71}{2164,97} \times 5 \right) \right\}$$

$$PT = 1,1 + 0,9 + 2$$

$$PT = 4,00$$

Logo, de acordo com a Tabela 3, a classificação geral da edificação corresponde ao nível B. O resultado também foi obtido via Webprescritivo, como mostra a Figura 10.

Figura 10- Simulação da Etiqueta geral do Bloco A no Webprescritivo

Etiqueta Geral

APT m² ?

ANC m² ?

EqNumV ?

b ?

Pontuação: 4.00

B

Fonte: A autora, adaptado de Webprescritivo.

4.2 Medidas para melhorar a eficiência energética

Para aumentar a classificação da edificação, sugerem-se algumas mudanças. Em relação a classificação da envoltória, são necessárias modificações nas propriedades térmicas da cobertura e nas cores das paredes. Como visto anteriormente, para obter o nível A de eficiência, o valor da transmitância térmica da cobertura não deve ultrapassar 1,00 W/m².K.

Dessa forma, uma solução simples seria a inserção de uma lâmina de alumínio polido abaixo das telhas de fibrocimento, o que levaria a um valor de transmitância térmica de $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$, aumentando a classificação de eficiência energética para B. Para atingir a classificação A, uma opção seria a troca da cobertura por telhas cerâmicas com lâ de vidro e forro de madeira, que possui transmitância térmica menor que o limite de $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ do nível A. Com relação às paredes, para atingir a classificação A, deve-se utilizar cores claras, com uma absorvância de até 0,50. Algumas sugestões são cores brancas, com absorvância solar de 0,20 ou amarelas, com absorvância solar de 0,30.

Além disso, para obter um IC_{env} menor que o limite do nível A, também é necessário aumentar o AVS. As salas voltadas para o leste são as que mais esquentam no verão, logo, seria interessante a inserção de brises nessas aberturas. Supondo que a mesma proteção solar de 1,9 metros de comprimento fosse colocada em todas as aberturas da fachada leste, teríamos um AVS de $19,98^\circ$, o que resultaria em um nível de eficiência energética A.

Já em relação a classificação do sistema de iluminação, é preciso apenas atender aos pré-requisitos específicos. Deve haver o acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima à abertura voltada para o ambiente externo, como por exemplo as janelas, garantindo o aproveitamento da luz natural. Além disso, na biblioteca, por ser um ambiente com área maior que 250 m^2 , deve haver um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação, seja para desligar a iluminação em um horário pré-determinado, para desligar 30 minutos após a saída de todos ocupantes ou para desligar ao receber um sinal de um outro controle ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada.

A Figura 11 mostra o resultado das etiquetas obtidas pelo Webprescritivo com as mudanças da cor das paredes externas para branco, da cobertura para telhas cerâmicas com lâ de vidro e forro de madeira, do AVS para $19,98^\circ$ e considerando que há acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima às aberturas e há um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação nos ambientes com área maior que 250 m^2 .

Figura 11- Simulação no Webprescritivo das mudanças sugeridas

Localização
 Zona Bioclimática ZB 3 Cidade Água Branca AL

Pré-requisitos
 U_{COB-AC} 0.95 W/(m²K) α_{COB} 20 %
 $U_{COB-ANC}$ 0.95 W/(m²K) CT_{PAR} 0 kJ/(m²K)
 U_{PAR} 2.28 W/(m²K) α_{PAR} 20 %
 PAZ 0 % FS 0

Dados Dimensionais da Edificação
 A_{TOT} 2164.97 m² $FA: 0.25$
 A_{PCOB} 544.33 m²
 A_{PE} 544.33 m²
 V_{TOT} 31878 m³ $FF: 0.07$
 A_{ENV} 2221.59 m²

Características das Aberturas
 FS 0.87
 PAF_T 22.26 %
 PAF_O 14.19 %
 AVS 19.98 °
 AHS 0 °

Calcular Eficiência Limpar

A

Iluminação
 Por áreas do edifício Por atividades do edifício

Pré-Requisitos de todos os ambientes
 Divisão de circuitos Atende Não atende
 Contribuição da luz natural Atende Não atende Não se aplica
 Desligamento automático Atende Não atende Não se aplica

	Atividade	No. de Unidades	Pré-Requisitos por ambientes			Potência [W]	Área [m ²]
			Divisão de circuitos	Contribuição da luz natural	Desligamento automático		
1	Biblioteca	1	Atende	Atende	Atende	2016	315
2	Escola/Universidade	1	Atende	Atende	Não se aplica	13692	1912

Calcular Eficiência Limpar

A

* Desde que observados os pré-requisitos de desligamento automático do sistema de iluminação, contribuição da luz natural e divisão dos circuitos

Etiqueta Geral
 APT 723.709999999 m²
 ANC 0 m²
 $EqNumV$ 1
 b 0

Calcular Eficiência Limpar
 Pontuação: 5.00

A

Fonte: A autora, adaptado de Webprescritivo.

4.3 Avaliação da eficiência energética pelo método de simulação

4.3.1 Modelo de simulação

Para a avaliação da eficiência energética através do método de simulação, foram utilizados os *softwares* *EnergyPlus*, versão 9.0.1, *SketchUp*, versão 17.3.116 e o *plugin* *OpenStudio*, versão 2.7.0. O *software* *SketchUp* é utilizado para criar e editar os modelos, que através do *plugin* *OpenStudio*, podem ser simulados no *EnergyPlus*. Dessa forma, o *EnergyPlus* consegue identificar a cobertura, o piso, as superfícies, quais superfícies possuem aberturas e quais estão em contato.

Uma vez que no método prescritivo obteve-se etiqueta geral B, espera-se que no método da simulação obtenha-se a mesma etiqueta. Sendo assim, inicialmente foram criados apenas os modelos de referência de etiqueta A e B e caso necessário, serão criados os demais

modelos. Essa decisão foi tomada devido ao tempo despendido nas modelagens e simulações.

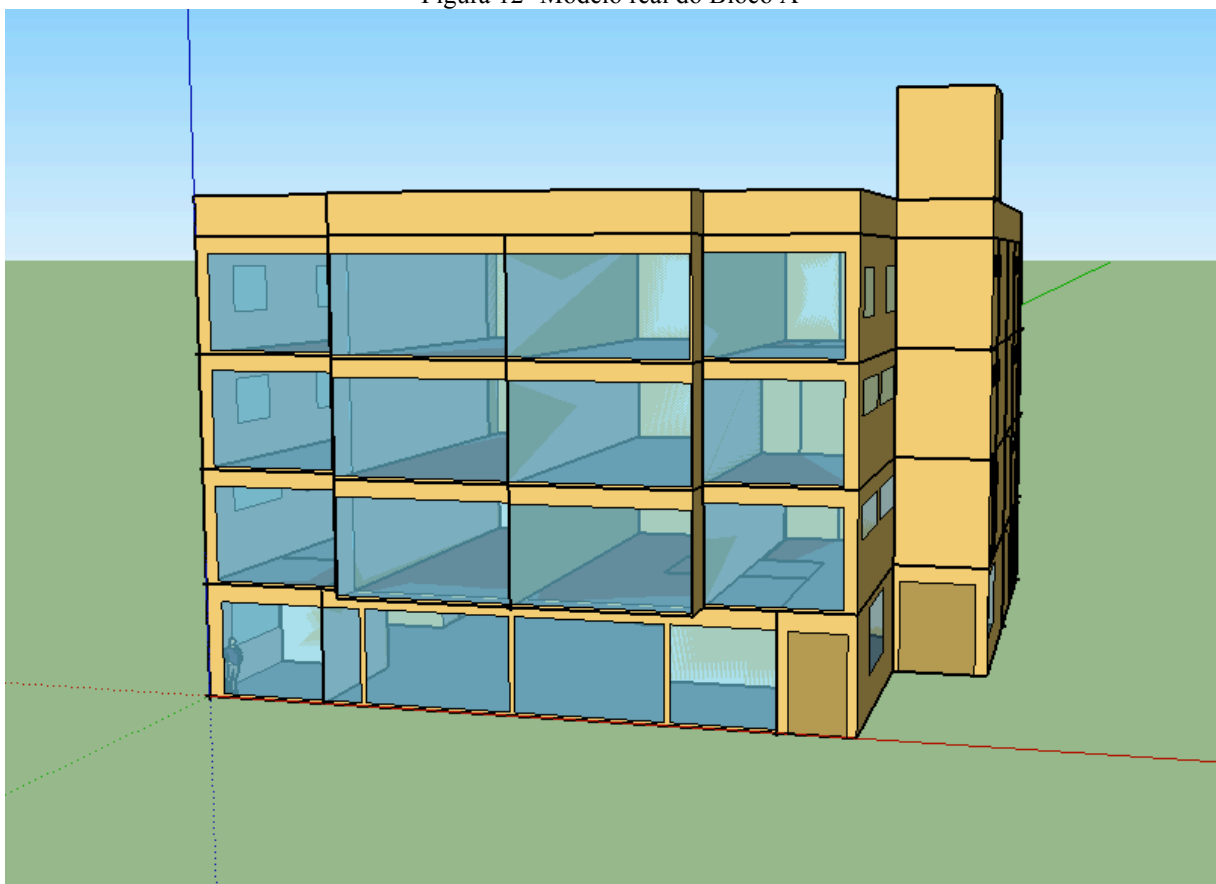
A Figura 12 mostra o modelo da edificação real. As edificações de referência foram modeladas de acordo com os requisitos da Tabela 8. Nos edifícios de referência, dimensões, orientação, carga interna e padrão de uso de equipamentos e pessoas permanecem igual ao edifício proposto. As demais características estão resumidas na Tabela 15.

Tabela 15 – Características do Modelo Real e dos Modelos de Referência.

Característica do edifício	Modelo de Referência etiqueta A	Modelo de Referência etiqueta B	Modelo de Referência etiqueta C	Modelo de Referência etiqueta D	Modelo Real
COP - Condicionadores de ar	3,23	3,02	2,81	2,60	3,24
PAZ	0	0	0	0	0
PAFT	18,12 %	31,25 %	44,38 %	57,51 %	22,26 %
AVS	0	0	0	0	1,97°
AHS	0	0	0	0	0
Tipo de vidro	Vidro simples, 3 mm	Vidro simples, 3 mm	Vidro simples, 3 mm	Vidro simples, 3 mm	Vidro simples, 3 mm
Fator solar	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
U – paredes (W/m ² K)	3,7	3,7	3,7	3,7	2,28
U – cobertura (W/m ² K)	1,0	1,5	2,0	2,0	1,99
α - paredes	0,5	0,74	0,74	0,74	0,74
α - cobertura	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45
DPI - Sistema de iluminação (W/m ²)	10,98	12,62	14,27	15,91	7,05

Fonte: A autora.

Figura 12- Modelo real do Bloco A



Fonte: A autora.

Os ambientes da edificação foram divididos em oito zonas térmicas, de acordo com suas características de uso. A Zona Térmica 1 (ZT1) corresponde ao hall de entrada da edificação e ao corredor, a Zona Térmica 2 (ZT2) corresponde a biblioteca, a Zona Térmica 3 (ZT3) corresponde ao elevador, a Zona Térmica 4 (ZT4) corresponde a escada, a Zona Térmica 5 (ZT5) corresponde a sala da direção da biblioteca, a Zona Térmica 6 (ZT6) corresponde as salas dos coordenadores, serviços gerais, secretaria dos cursos, assistência estudantil, sala dos professores, sala de monitoria, sala dos servidores, sala de TI e sala da direção, a Zona Térmica 7 (ZT7) corresponde aos vestuários, banheiros e as copas e, por fim, a Zona Térmica 8 (ZT8) correspondente as salas de aula.

A definição padrão do *OpenStudio* é que o piso troca calor com o solo e as superfícies trocam calor com o ar externo. Para que o *EnergyPlus* possa verificar onde ocorrem as transferências de calor, de acordo com a exposição à radiação solar e ao vento, foi necessário definir quais superfícies estão em contato com o ar externo e quais estão em contato com a própria edificação e irão trocar calor com os ambientes adjacentes. Isso foi feito de forma

automática durante a construção dos modelos através da ferramenta *Surface Matching* do *OpenStudio*.

Para a simulação da edificação, foi necessário inserir alguns parâmetros de entrada, como potência dos equipamentos instalados, dados do sistema de climatização, fluxos de ar, taxa de ocupação, perfil de uso dos sistemas, dados construtivos da edificação e um arquivo climático EPW (*EnergyPlus Weather File*). Esses dados foram obtidos através de uma auditoria energética realizada na edificação.

Para obter a localização e as condições climáticas e meteorológicas do local em que a edificação está inserida, utilizou-se os arquivos de Indaial - SC, cidade mais próxima de Blumenau que possui arquivos climáticos EPW. Arquivos de diversas cidades podem ser encontrados no site oficial do *software*. Os dados de Indaial tem como fonte as estações climatológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Os padrões de ocupação, de iluminação e de uso dos equipamentos foram detalhados nos apêndices B, C e D, respectivamente. As taxas de ocupação foram definidas para a biblioteca, sala da direção da biblioteca, salas dos coordenadores, secretaria dos cursos, assistência estudantil, sala dos professores, sala de monitoria, e sala da direção. O valor 1 representa que todas as pessoas estarão presentes e 0 que nenhuma pessoa estará presente. O hall de entrada, sala dos servidores, sala de TI, serviços gerais, corredor, elevador e banheiro não foram considerados por serem ambientes de curta permanência.

Para a quantidade de calor gerada pelas pessoas presentes no ambiente considerou-se que a taxa metabólica de um homem adulto realizando atividade moderada em trabalhos de escritório é de 140 W (ABNT, 2008). Também considerou-se uma fração radiante de 30 % referente à energia radiante que é emitida pelas pessoas (ENERGYPLUS, 2013).

A Tabela 16 lista os equipamentos elétricos instalados, assim como as suas respectivas potências e a potência total instalada na edificação. As potências foram obtida *in loco* ou através dos catálogos dos equipamentos, encontrados na internet. O único equipamento que fica ligado constantemente, inclusive nos finais de semanas e feriados, é o servidor. Para o padrão de uso detalhado no Apêndice D, dividiu-se a potência em utilização a cada hora pela potencia total instalada no ambiente. Considerou-se uma fração radiante dos equipamentos de 10 % referente a quantidade de calor radiante emitido pelos equipamentos em uma zona.

Tabela 16 – Equipamentos instalados no Bloco A

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Potência Total (W)
Geladeira	1	500	500
Microondas	1	800	800
Cafeteira	1	700	700
Bebedouro	4	120	480
Projektor	17	280	4760
Computador	21	260	5460
Impressora	3	70	210
Servidor	1	495	495
No break	1	100	100
Potência Total Instalada (W)			13505

Fonte: A autora.

As tabelas 17 e 18 apresentam a lista de materiais do edifício, assim como suas camadas constituintes e respectivas propriedades térmicas.

Tabela 17 – Elementos construtivos do Bloco A

Elemento Construtivo	Camada
Janela	Vidro Comum
Porta	Madeira
Piso	Laje de Concreto, Argamassa, Cerâmica
Parede	Argamassa, Tijolo
Teto	Laje de Concreto, Telha de Fibrocimento

Fonte: A autora.

Tabela 18 – Propriedade térmica dos materiais

Material	Espessura (m)	Densidade (kg/m³)	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (kJ/(kg.K))
Vidro Comum	0,003	2500	1,00	0,84
Madeira	0,025	500	0,15	1,34
Laje de Concreto	0,250	2200	1,75	1,00
Argamassa	0,010	2000	1,15	1,00
Cerâmica	0,005	1500	0,90	0,92
Tijolo	0,100	1600	0,90	0,92
Telha de Fibrocimento	0,007	1900	0,95	0,84

Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

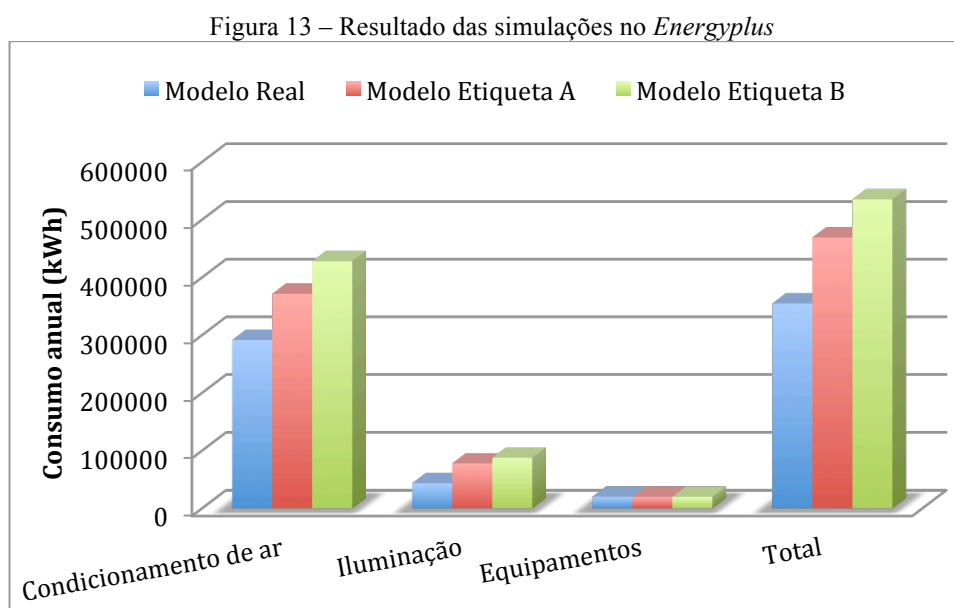
A infiltração é um fluxo de ar não intencional do ambiente externo para a edificação. Acontece quando se abre e fecha portas ou quando há frestas ao redor de janelas, por

exemplo. Varia com a qualidade construtiva da edificação, com a direção e velocidade do vento, com a diferença das temperaturas interna e externa e, com a pressão interna do edifício e pode ser calculada pelos métodos descritos em ASHRAE (2017). Porém, alguns autores utilizam as tabelas simplificadas apresentadas na NBR6401 (GOMES, 2012). Para a simulação, optou-se por utilizar o segundo caso. Foi considerado uma taxa de 1,5 de troca de ar por hora, ou seja, todo o volume de ar zona é trocado uma vez e meia a cada hora (ABNT, 1980). Considerou-se que o processo de infiltração de ar ocorre em todas as horas do ano.

Já a ventilação é um fluxo de ar intencional do ambiente externo para a edificação. Pode ser natural, quando se deixa portas e janelas abertas, ou artificial, através do uso de ventiladores, exaustores e dutos de ar. Para a simulação, nos ambientes sem ar condicionado, foi considerado uma taxa de 1 troca de ar por hora (ABNT, 2013) e nos ambientes com ar condicionado, foi considerado uma taxa de renovação do ar de 27 m³/hora/pessoa (ANVISA, 2003).

4.3.2 Resultado das simulações

O resultado das simulações pode ser visto na Figura 13. Como o consumo total obtido na simulação do modelo real foi menor que o obtido na simulação do modelo de referência A, a classificação final do edifício é “A”.

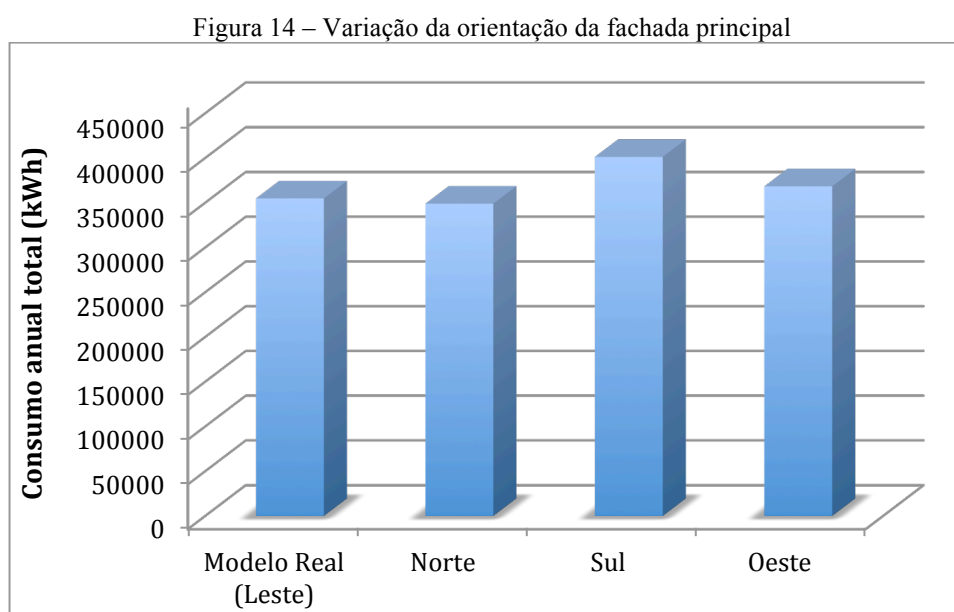


Fonte: A autora.

Ainda de acordo com a Figura 13, percebe-se que o consumo referente ao condicionamento de ar é menor no modelo real em comparação com os modelos de referência A e B, que pode estar associado às modificações nas características construtivas da envoltória, como o PAFt e a absorvância e transmitância térmica das paredes e coberturas. O consumo do sistema de iluminação também diminuiu com o maior nível de eficiência, ou seja, quanto mais eficiente, menor o consumo. Isso ocorre devido à variação da densidade de potência de iluminação de cada modelo. Já em relação aos equipamentos, não resultaram em variação de consumo nas simulações, uma vez que em todos os modelos, os dados de entrada relativos aos equipamentos foram os mesmos.

Com o intuito de avaliar a influência dos parâmetros construtivos no consumo da edificação, o modelo real foi simulado variando a orientação da fachada principal, a transmitância térmica da cobertura e a absorvância das paredes.

As maiores áreas envidraçadas do modelo real estão na fachada principal, que está orientada para o leste. Para analisar a influência da orientação no consumo total de energia do edifício, a orientação da fachada principal foi modificada para norte, sul e oeste, como apresentado na Figura 14. Pode-se perceber que o consumo de energia varia pouco de acordo com a posição da edificação, assim como constatado por Santana (2006) em seu trabalho.

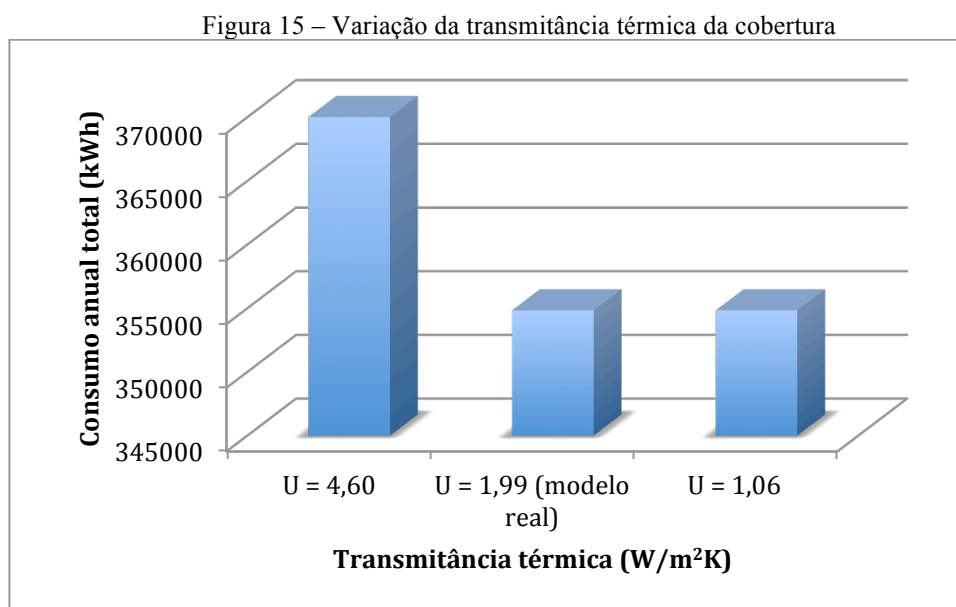


Fonte: A autora.

Observa-se que o único caso em que há uma redução no consumo em relação ao modelo real é quando o edifício está com a fachada principal voltada para norte, resultando em um consumo anual 1,66 % menor que o original. Já o caso que apresenta maior variação no consumo de energia é do edifício com a fachada principal voltada para a orientação sul, no qual ocorre um aumento no consumo de 13,08 %. Com a fachada principal voltada para o oeste obtém-se um acréscimo no consumo de 3,81 %.

No hemisfério sul, a fachada oeste é a que recebe maior incidência de calor. Logo, esperava-se que o maior consumo fosse com a fachada principal voltada para oeste. No entanto, devido a alteração consequente que ocorre na posição das demais fachadas, o maior consumo foi com a fachada principal voltada para o sul.

Quanto a variação da transmitância térmica da cobertura, foi analisado um caso em que seria inserida uma lâmina de alumínio polido abaixo das telhas de fibrocimento, resultando em uma transmitância térmica de $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ e um caso em que haveriam apenas as telhas de fibrocimento, sem forro, com uma transmitância térmica de $4,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Os resultados são mostrados na Figura 15.



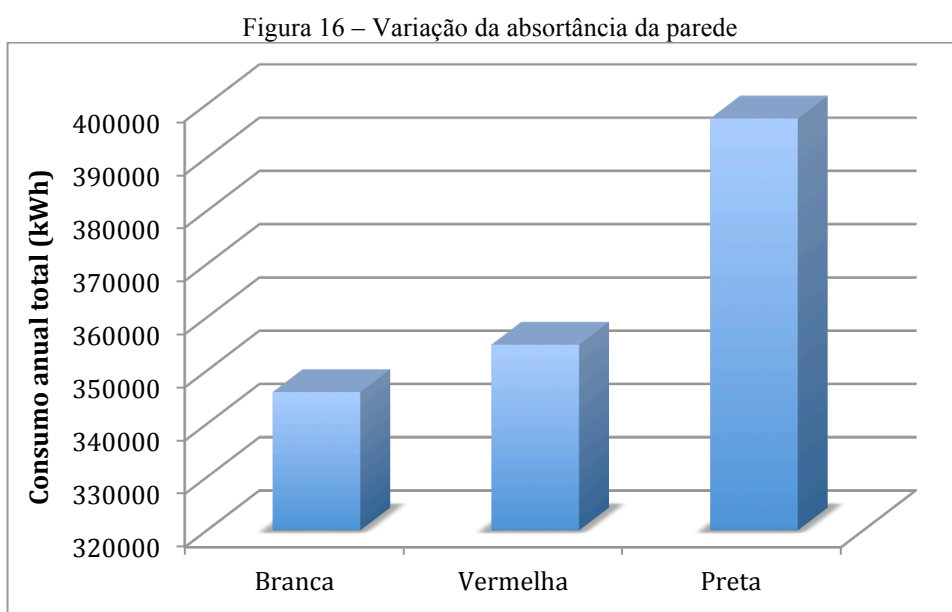
Fonte: A autora.

Como era de se esperar, quanto maior a transmitância térmica, maior o consumo da edificação, já que aumentam-se as trocas de calor com o ambiente externo, exigindo o uso dos equipamentos de condicionamento de ar para manter as condições de conforto. No entanto, esperava-se que esse parâmetro tivesse uma relação linear com o consumo, o que não ocorreu.

Em relação ao consumo do modelo real, houve um acréscimo de 4,36 % com $U = 4,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ e uma redução de apenas 0,001 % com $U = 1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$. A pequena influência desse parâmetro deve-se ao fato de que a área da cobertura é pequena.

Esses resultados estão de acordo com os trabalhos de Bottamedi (2011) e Santana (2006), em que este concluiu que modificando a transmitância térmica da cobertura, há uma pequena variação no consumo, de cerca de 2 % para mais ou para menos e aquele concluiu que quanto maior a transmitância térmica da cobertura, maior a demanda de consumo da edificação.

Com relação à absorvância térmica das paredes, foram simulados os casos em que são adotadas cores brancas, com absorvância de 0,20 e cores pretas, com absorvância de 0,97. A alteração da absorvância das paredes é uma estratégia relativamente simples de ser adotada, pois basta alterar a pintura da edificação. Sabe-se que quanto mais clara a cor, menor a absorvância de radiação, logo, espera-se que o consumo de energia também seja menor. A Figura 16 mostra a comparação com a parede vermelha ($\alpha = 0,74$) do modelo real. Conforme o esperado, com a adoção da cor branca há uma redução de 2,5 % do consumo e com a cor preta, um aumento de 12 % no mesmo. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Santana (2006), que verificou que ao se alterar a cor das paredes de claro para escuro, aumentou-se o consumo de energia em cerca de 15 %.



Fonte: A autora.

5 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi aplicar os métodos propostos pelo RTQ-C para classificar o Bloco A do Campus Blumenau da UFSC quanto a sua eficiência energética e propor mudanças para melhorar essa eficiência. As universidades, de forma geral, possuem um elevado consumo de energia elétrica, que muitas vezes poderia ser reduzido apenas com o uso de estratégias bioclimáticas. No entanto, são poucas as edificações que consideram essas estratégias na sua construção. Foi visando incentivar o uso de medidas que promovam a eficiência energética que surgiram programas de conservação e uso racional de energia, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações.

Através da aplicação do método prescritivo do RTQ-C, obteve-se a classificação da envoltória, do sistema de iluminação e de condicionamento de ar, além da classificação geral do Bloco A. Primeiramente, para a envoltória, obteve-se a classificação “B” e para o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar, a classificação “A”. Porém, ao se verificar o cumprimento dos pré-requisitos específicos, as classificações da envoltória e do sistema de iluminação mudaram para “C”. Já a classificação geral da edificação foi de nível “B”, antes e depois da avaliação dos pré requisitos gerais, visto que estes foram todos cumpridos.

De forma diferente, o método de simulação do RTQ-C foi utilizado para avaliar apenas a classificação geral da edificação. Através do *software EnergyPlus*, obteve-se a classificação “A”, o que leva a conclusão de que através do método de simulação é possível obter classificações melhores do que com o método prescritivo. Isso se dá devido à uma possível superestimação do peso dos pré-requisitos da envoltória no método prescritivo. Foram simulados casos com transmitância térmica da cobertura e absorvância térmica das paredes maiores que o recomendado pelo método prescritivo e concluiu-se que nenhuma das mudanças simuladas acarretaria em uma classificação geral pelo método de simulação diferente do nível “A”. Além disso, o método prescritivo pode ser considerado muito simplificado, uma vez que não considera parâmetros importantes como a orientação da edificação. Por fim, acredita-se que o parâmetro decisivo para os resultados das simulações foi a transmitância térmica das paredes, uma vez que a área das paredes representa 75 % da área total da envoltória e possuem $U = 2,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ que é razoavelmente melhor que a recomendada para o nível A ($U = 3,70 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Com a realização desse trabalho, ficou evidente a importância da adoção de estratégias bioclimáticas ainda durante a realização do projeto da obra, para evitar um consumo desnecessário de energia elétrica após a construção da edificação.

Entre as dificuldades encontradas durante a execução desse trabalho, está a obtenção dos dados construtivos da edificação, uma vez que esta não foi construída pela UFSC. Foi feito contato com a imobiliária responsável pela locação do imóvel a fim de obter mais informações sobre a construção, porém não obteve-se sucesso. A maior dificuldade surgiu durante a execução do método de simulação, em que utilizou-se os dados de entrada coletados in loco, sem os valores reais do projeto da edificação. Além disso, não foram utilizados todos os recursos disponíveis no software dada a complexidade da edificação. Portanto, recomenda-se que, em trabalhos futuros sejam utilizados os dados de projeto e os demais recursos disponíveis no software. Com isso, espera-se que os resultados sejam mais precisos. Embora o *EnergyPlus* seja um *software* gratuito, permitiu a obtenção de resultados completos relativos à estudos térmicos e energéticos.

Para trabalhos futuros recomenda-se avaliar o potencial de economia que poderia ser alcançado na edificação, averiguar os custos e tempo de retorno financeiro para a implantação das estratégias bioclimáticas propostas, analisar a eficiência energética dos demais blocos do Campus Blumenau da UFSC, classificar a edificação através do Novo Método de Avaliação da Classe de Eficiência Energética das Edificações, explorar as demais funcionalidades do *EnergyPlus* a fim de obter resultados mais precisos e utilizar outros *softwares* de simulação para comparar os resultados obtidos com o *EnergyPlus*.

REFERÊNCIAS

- ABESCO. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Potencial de Eficiência Energética no Brasil 2008 - 2016**. 2017. Disponível em <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/potencial-de-eficiencia-energetica-no-brasil-2008-2016/>>. Acesso em 21 de fevereiro de 2019.
- ABESCO. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Brasil mantém a 4ª posição no ranking de países com maior número de projetos LEED**. 2018. Disponível em <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/brasil-mantem-a-4a-posicao-no-ranking-de-paises-com-maior-numero-de-projetos-leed/>>. Acesso em 16 de março de 2019.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução-RE N° 9, de 16 de janeiro de 2003**. Diário Oficial da União, N°14, segunda-feira, 20 de janeiro de 2003.
- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta, 2017. 1013 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: 2003. 23 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – desempenho, Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: 2013. 60 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários, Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro: 2008. 60 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401**: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro: 1980. 17 p.
- BASSO, T. M.; NOGUEIRA, C. E. C.; SILVA, D. S. **Eficiência energética na construção civil no Brasil**. Acta Iguazu, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 48-56, 2015.
- BOTTAMEDI, M. G. **Avaliação da eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis: aplicação do programa de etiquetagem de edificações**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria n° 53, de 27 de fevereiro de 2009**. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2009.

CAMARGO, L. F. S. X. **Eficiência energética e sustentabilidade em edificações: um estudo de caso na biblioteca da UNESP de Guaratinguetá.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

CASBEE. **CASBEE Building Evaluation Certified Property List.** Disponível em <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/certified_buld/CASBEE_certified_buld_list.htm>. Acesso em 10 de junho 2019.

DGNB. **DGNB pre-certified and certified projects.** Disponível em <<https://www.dgnb-system.de/en/projects/index.php>>. Acesso em 10 de junho 2019.

ELETROBRAS. **Manual para aplicação do RTQ-C.** 2017. Disponível em <http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual_20170411_Notas_T%C3%A9cnicas%2B Capa.pdf>. Acesso em 21 de fevereiro 2019.

ELI, L. G. **Avaliação de medidas de eficiência energética em uma edificação multifamiliar por meio do regulamento brasileiro de etiquetagem.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

ENERGYPLUS. **Input and Output Reference.** US Department of Energy. 2013.

GCCE. **Segundo Plano Anual De Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL.** Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/17806967/PAR+PROCEL+2018/8e1011fb-cae4-7a3a-6b6a-ca16b26966b6>>. Acesso em 04 de março de 2019.

GBC BRASIL. Green Building Council Brasil. **Certificação LEED.** Disponível em <<http://www.gbcbrasil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em 16 de março de 2019.

GOING GREEN BRASIL. **10 anos de certificação AQUA-HQE no Brasil, conheça a história.** Disponível em <<http://goinggreen.com.br/2018/10/10/10-anos-de-certificacao-aqua-hqe-no-brasil-conheca-a-historia/>>. Acesso em 16 de março de 2019.

GUERRA, M. R. **Projeto e desenvolvimento de uma planta piloto com conceitos de arquitetura bioclimática.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016.

GOMES, A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em light steel framing.** 2012. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

INMETRO. Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em 20 de março de 2019.

INMETRO. **Tabelas de consumo/eficiência energética.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>>. Acesso em 16 de junho de 2019.

IWBI. International WELL Building Institute. **International WELL Building Institute**. Disponível em <<https://www.wellcertified.com/about-iwbi>>. Acesso em 16 de março de 2019.

LabEEE. **Webprescritivo**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em 16 de março de 2019.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. Apostila do curso de Engenharia Civil – UFSC. Florianópolis, 2011.

LAMBERTS, R.; CARLO, J. C. **Parâmetros e Métodos Adotados no Regulamento de Etiquetagem da Eficiência Energética de Edifícios – Parte 1: Método Prescritivo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, 2010.

MELO, C. C. **Aplicação dos critérios do programa de etiquetagem PBE edifica à faculdade do gama - UNB**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2018**: ano base 2017. Brasília: MME, 2018. 294 p.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

NASCIMENTO, A. L.; MACIEL, E. **Certificado ambiental de edifícios AQUA, LEED e Procel Edifica**. Climatização & Refrigeração, São Paulo, n 140, p. 44-51, 2010.

NBS. **What is BREEAM?** Disponível em <<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-breeam>> Acesso em 16 de junho de 2019.

PAPST, A. L.; GHISI, E.; COLLE, F.; ABREU, S. L.; GOULART, S.; BORGES, T. **Eficiência Energética e uso racional da energia na edificação**. 1. ed. Florianópolis, 2005. 170 p.

PROCEL INFO. **Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, Edificações**. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}>> Acesso em 21 de fevereiro de 2019.

PBE EDIFICA. **Edificações comerciais e de serviços**. Disponível em <<http://pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial>> Acesso em 6 de julho de 2019.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis - SC**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SANTOS, F. M. M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT: estudo de caso**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso,

Cuiabá, 2008.

SILVA, A. F.; DIAS, J. B. Estudo da energia solar fotovoltaica na arquitetura bioclimática. In: **Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2014, Bento Gonçalves.

SILVA, F. E. F. **Determinação do nível de eficiência energética da envoltória do prédio da central de aulas – UEPB**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SILVA, M. P. **Simulação e análise termoenergética de uma planta piloto bioclimática**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

SOARES, A. SANTOS, F. M. **Análise do terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Afonso Pena visando a obtenção da etiqueta nacional de eficiência energética, Nível “A”, segundo o método do Procel Edifica**. 2013. Monografia do Curso de Especialização em Eficiência Energética, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

UFSC. **Relatório de Energia Elétrica 2018**. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/195680>>. Acesso em 10 de junho 2019.

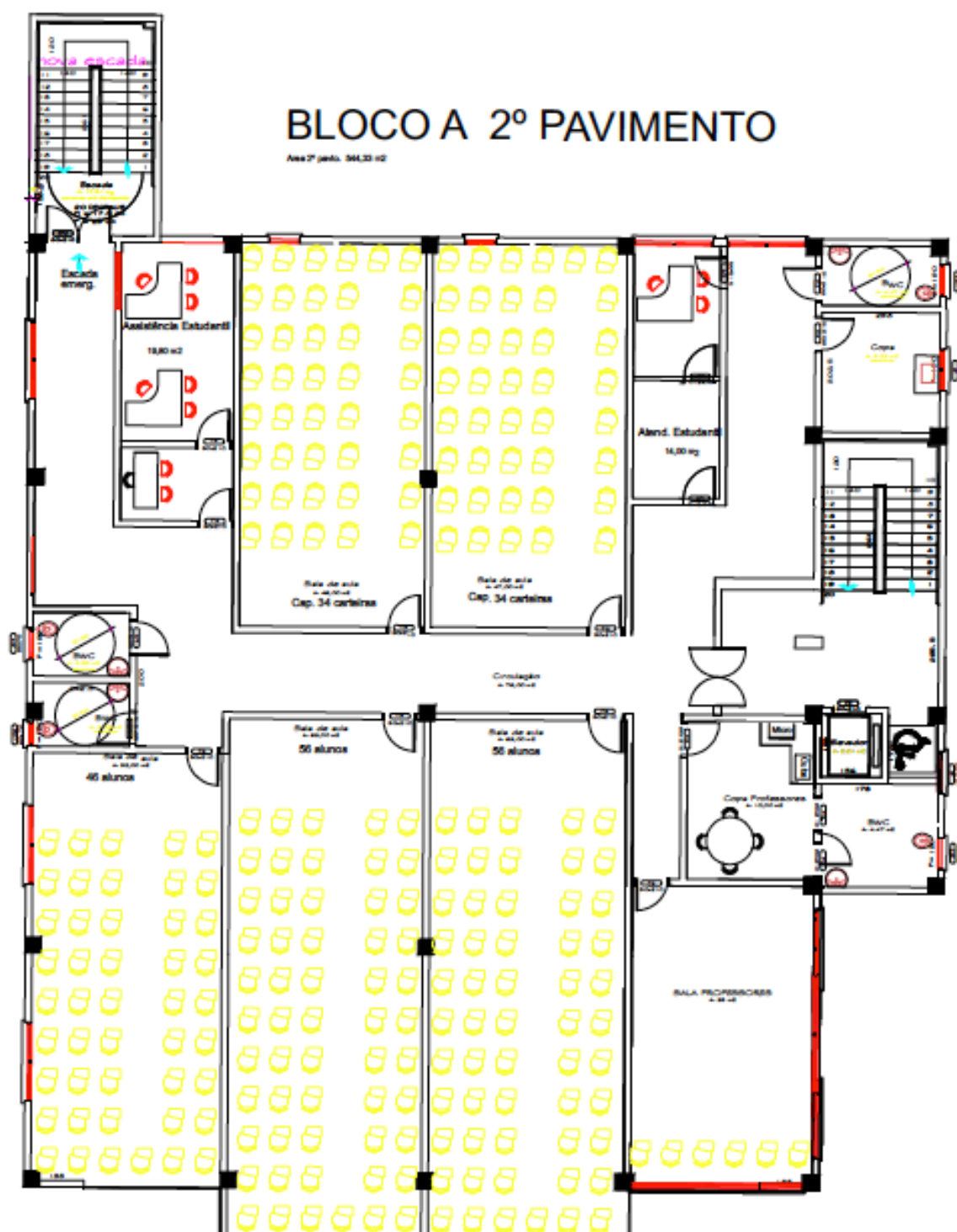
UFSC. **UFSC Blumenau avalia reestruturação de cursos, turnos e oferta de novos mestrados e doutorado**. 2018. Disponível em <<https://noticias.ufsc.br/2018/07/ufsc-blumenau-avalia-reestruturacao-de-cursos-turnos-e-oferta-de-novos-mestrados-e-doutorado-para-2019/>>. Acesso em 16 de junho 2019.

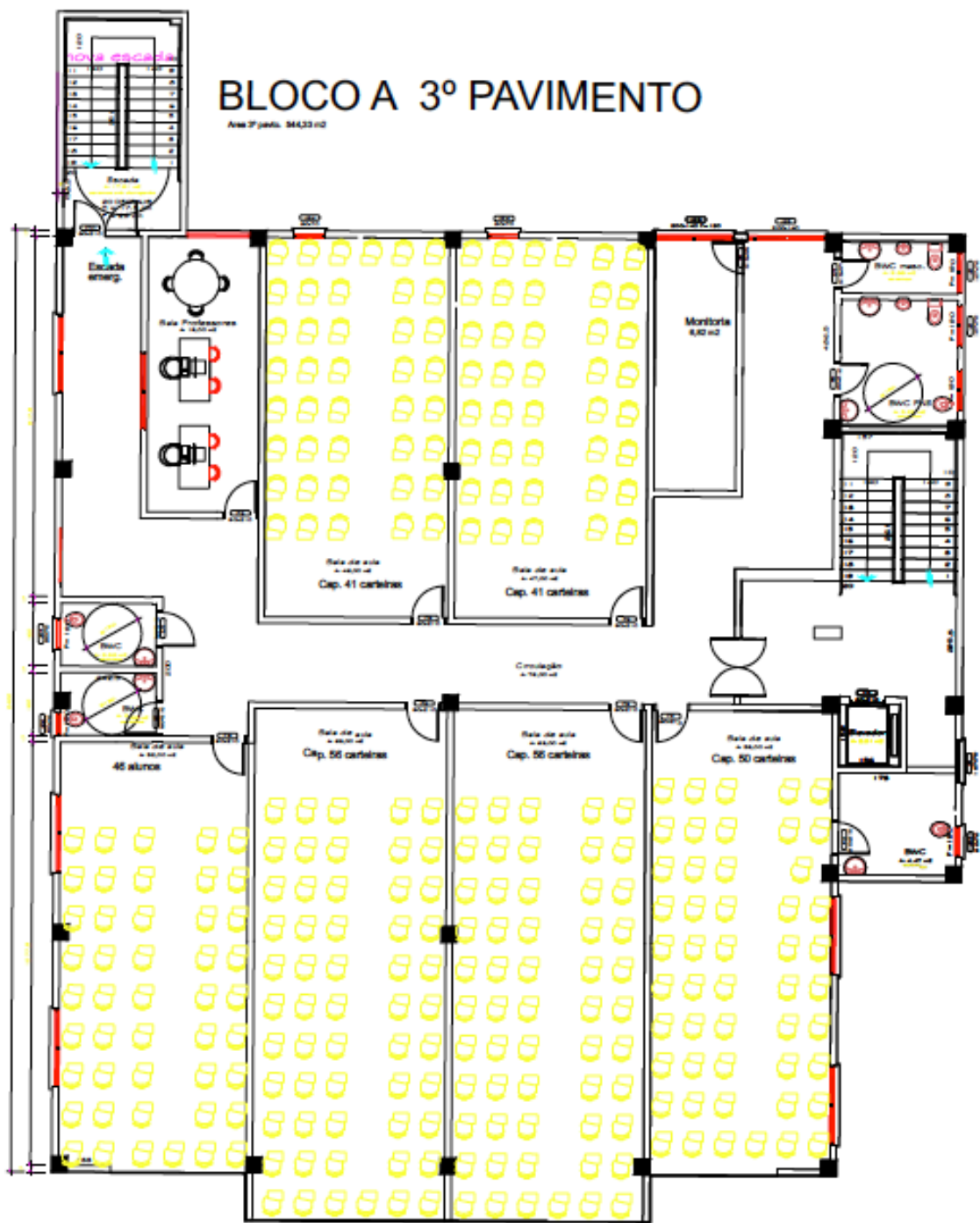
WIEL, S; MCMAHON, J. E. **Energy-efficiency labels and standards: a guidebook for appliances, equipment, and lighting**. Washington, 2001. 237 p.

ZHENG, D. **Does LEED save energy? A case study of LEED at UC Berkeley**. 2013. Disponível em <<https://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2013final/>>. Acesso em 15 de abril de 2019.

APÊNDICE A - PLANTA BAIXA DO BLOCO A



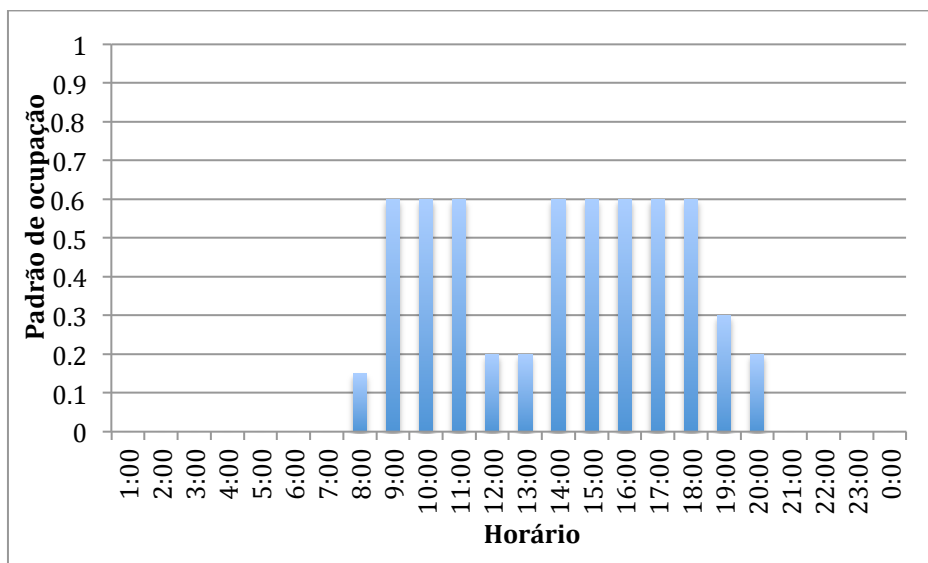




APÊNDICE B - PADRÕES DE OCUPAÇÃO

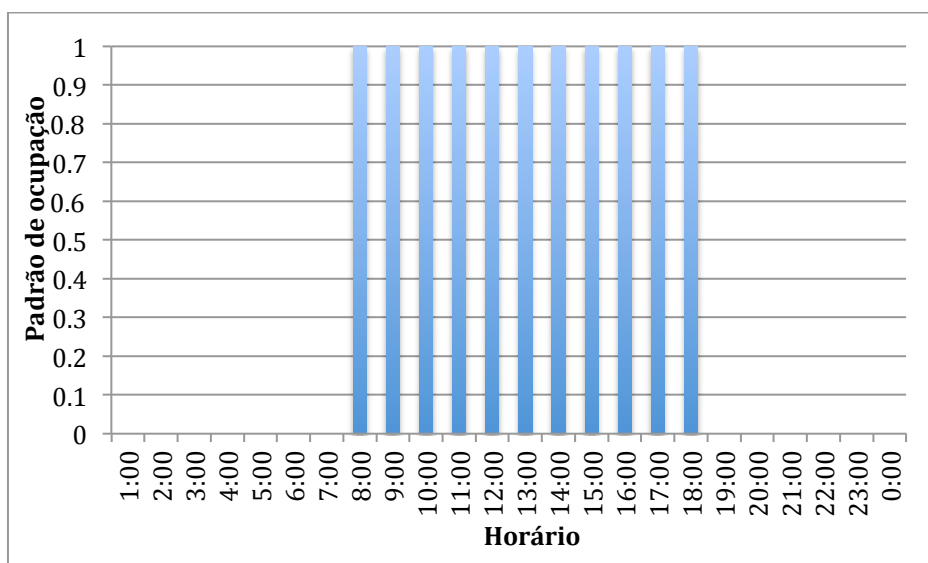
B.1 Biblioteca

O funcionamento da biblioteca é bastante irregular, porém com frequente ocupação. Seu funcionamento é das 8 às 21 h. Não possuindo o registro de ocupação, optou-se em modelar a biblioteca com ocupação de 60 % da sua capacidade das 9 às 12 h e das 14 às 19 h e cerca de 20 % nos demais horários.



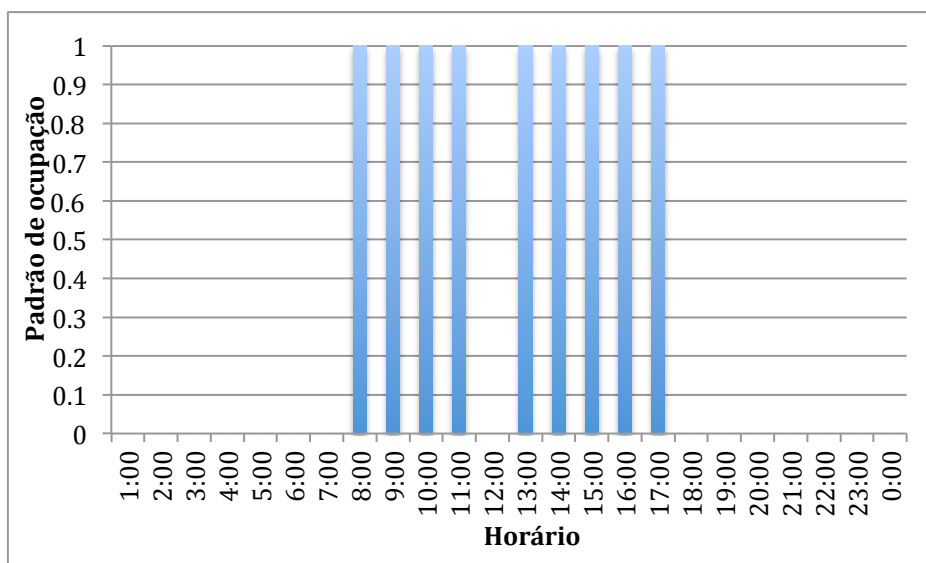
B.2 Assitência estudantil e atendimento estudantil

O horário de atendimento é das 8 às 19 h.



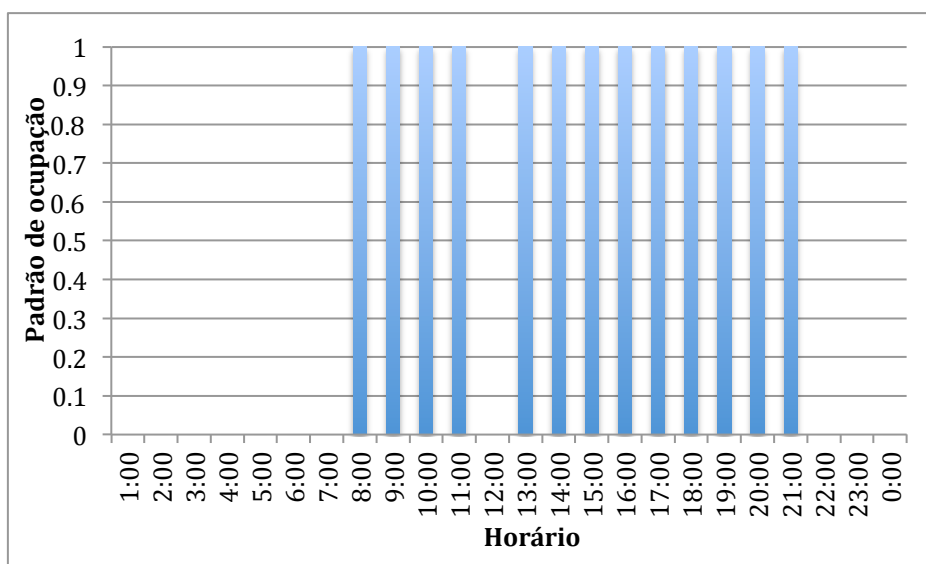
B.3 Direção, Direção da Biblioteca, Sala TI, Servidor

O horário de funcionamento é das 8 às 12 h e das 13 às 18 h.



B.4 Secretaria dos cursos

O horário de funcionamento é das 8 às 12h e das 13 às 22 h.



B.5 Sala dos Coordenadores

O funcionamento da sala dos coordenadores também é bastante irregular, já que, além do atendimento da coordenação, a secretaria de graduação também funciona nesta sala. O padrão de ocupação da sala dos coordenadores foi modelado com funcionamento diferenciado

entre os dias da semana, de acordo com o horário de atendimento da coordenação e sabendo que a secretaria de graduação funciona de segunda a sexta, das 9 às 19 h.

segunda-feira

das 10 às 12:30: matemática

das 13:30 às 17 h: engenharia de controle e automação

das 14 às 17 h: engenharia têxtil

terça-feira

das 10 às 15 h: engenharia têxtil

das 17:30 às 20 h: matemática

das 17:30 às 20 h: química

das 13:30 às 17 h: engenharia de materiais

quarta-feira

das 10 às 12:30: matemática

das 13:30 às 17 h: engenharia de controle e automação

das 10 às 17 h: engenharia têxtil

das 18:30 às 21:30: química

quinta-feira

das 17:30 às 20 h: matemática

das 08:30 às 11:30: engenharia de controle e automação

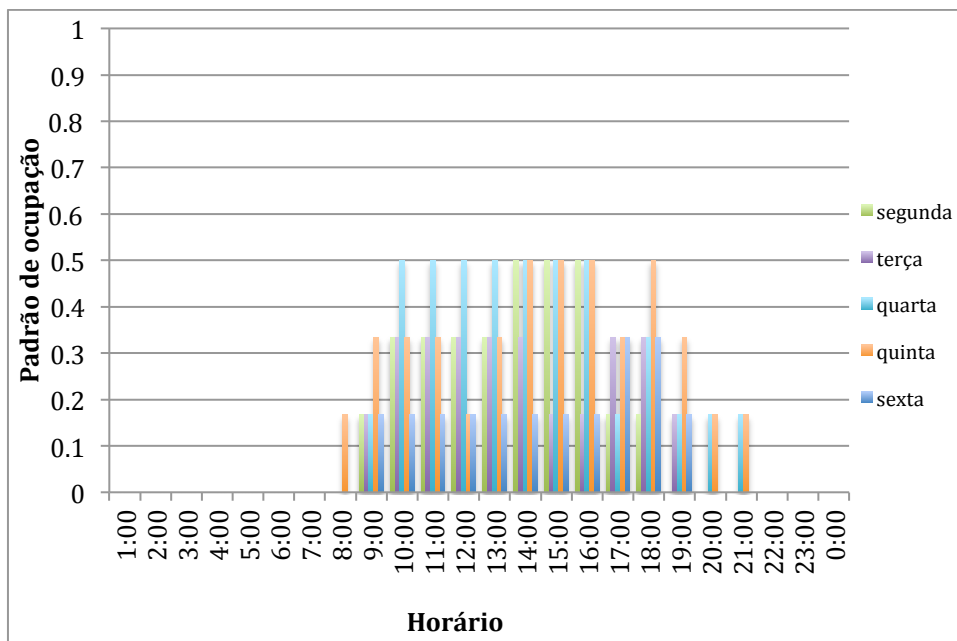
das 14 às 17 h: engenharia têxtil

das 18:30 às 21:30: química

das 13:30 às 17 h: engenharia de materiais

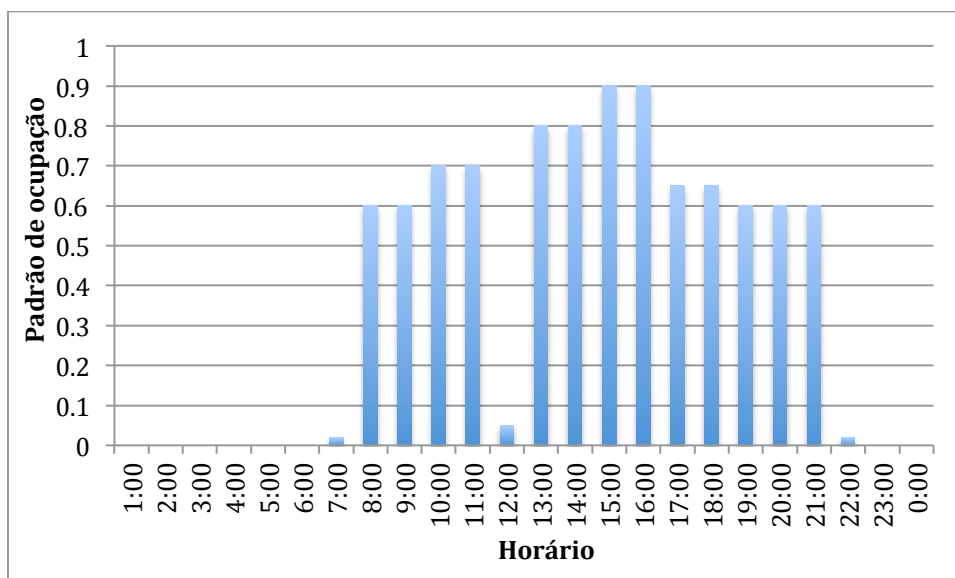
sexta-feira

das 17:30 às 20 h: matemática



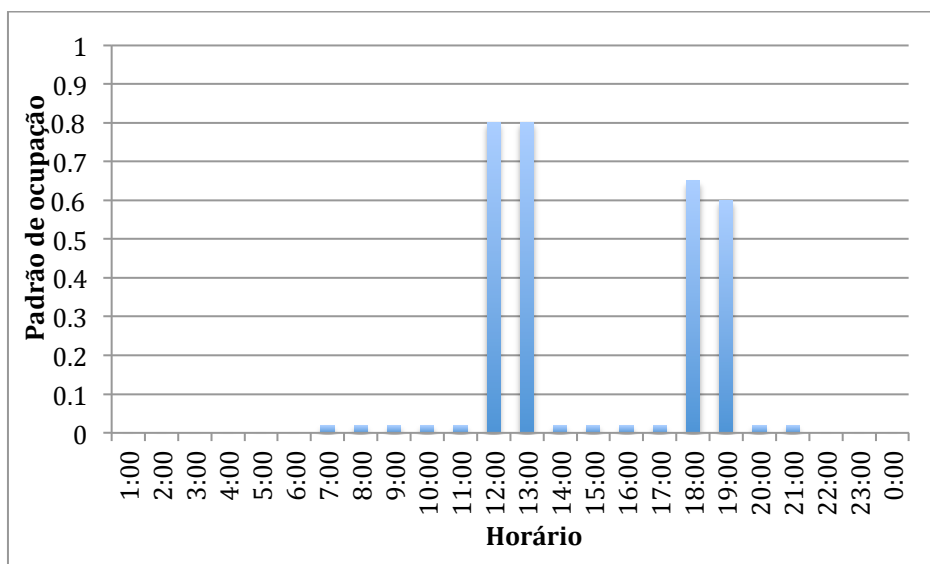
B.6 Sala de aula

A modelagem do padrão de ocupação das salas de aula foi feita de acordo com a grade de horários de cada sala obtida durante a visita *in loco*. Embora a ocupação não seja a mesma durante os dias da semana, foi considerada uma média de todas as salas.



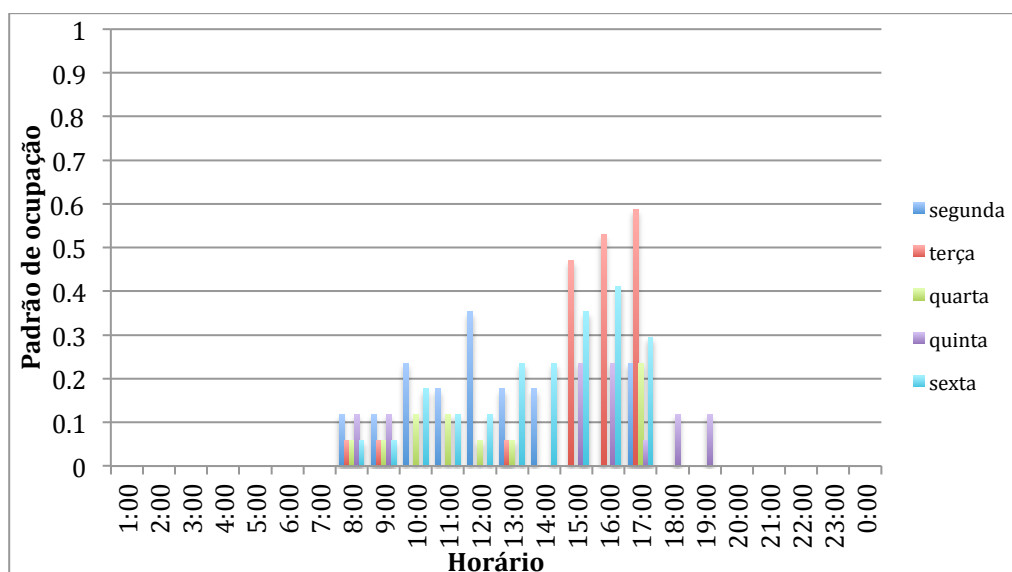
B.7 Copa

Como não se teve acesso ao registro de ocupação da copa, considerou-se uma ocupação de 80 % da sua capacidade no horário de almoço (12 às 14 h) e cerca de 60 % no horário do jantar (18 às 20 h).



B.8 Monitoria e sala dos professores

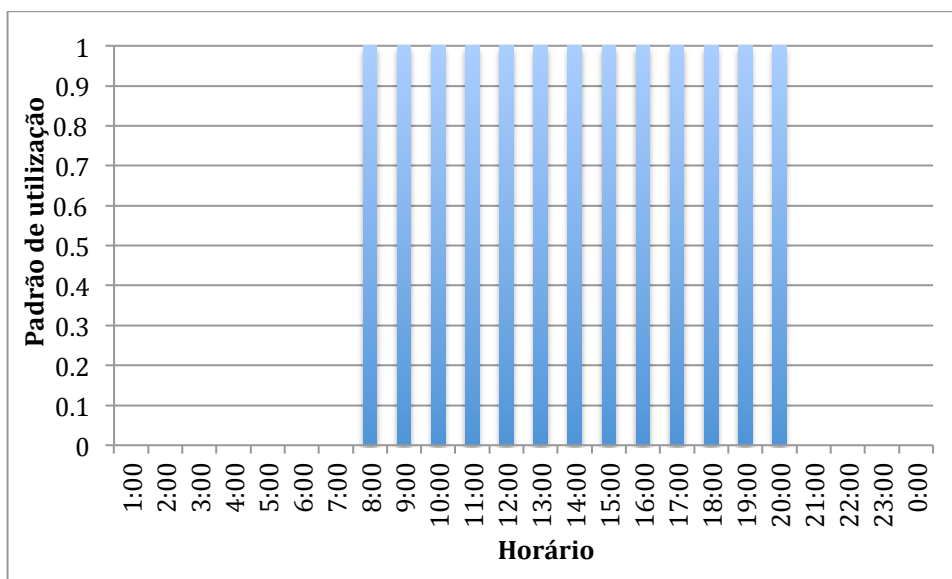
O campus conta com 17 monitores e 5 professores que atendem no Bloco A. O horário de atendimento dos monitores foi obtido na plataforma MONI disponibilizada pela UFSC (<https://moni.sistemas.ufsc.br/restrito/aluno/horarioPlano.xhtml>) e o horário de atendimento dos professores foi considerado igual, já que não se obteve esses dados.



APÊNDICE C – PADRÕES DE ILUMINAÇÃO

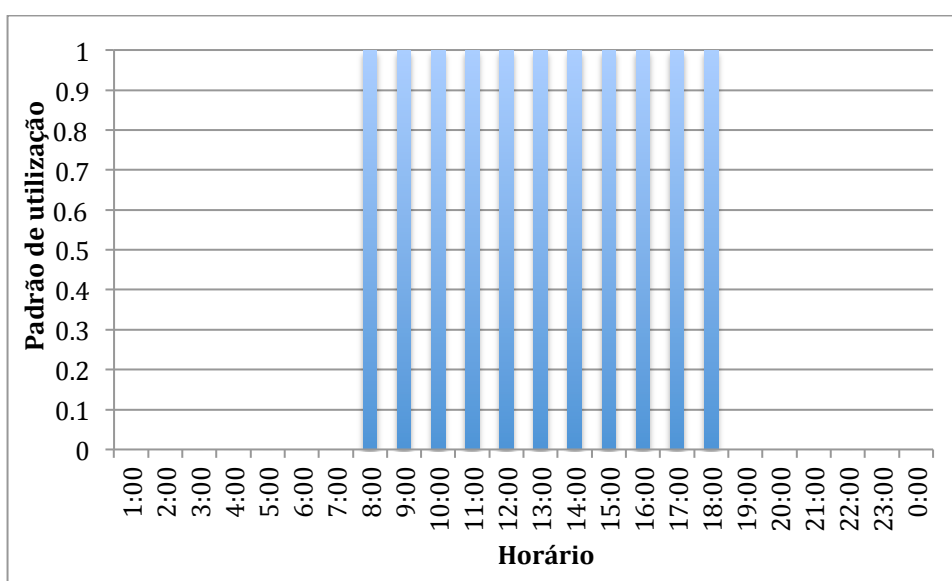
C.1 Biblioteca

O padrão de uso de iluminação da biblioteca ocorre durante o seu período de ocupação. Desta forma, foi considerada a demanda máxima das 8 às 21 h.



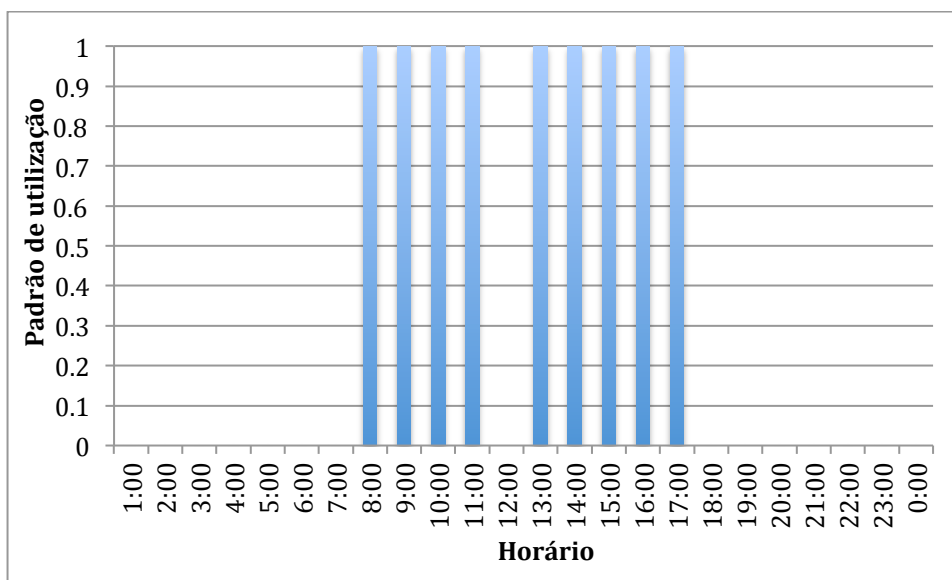
C.2 Assistência estudantil e atendimento estudantil

O padrão de uso de iluminação das salas de assistência estudantil e atendimento estudantil também ocorre durante o seu período de ocupação, ou seja, das 8 às 19 h.



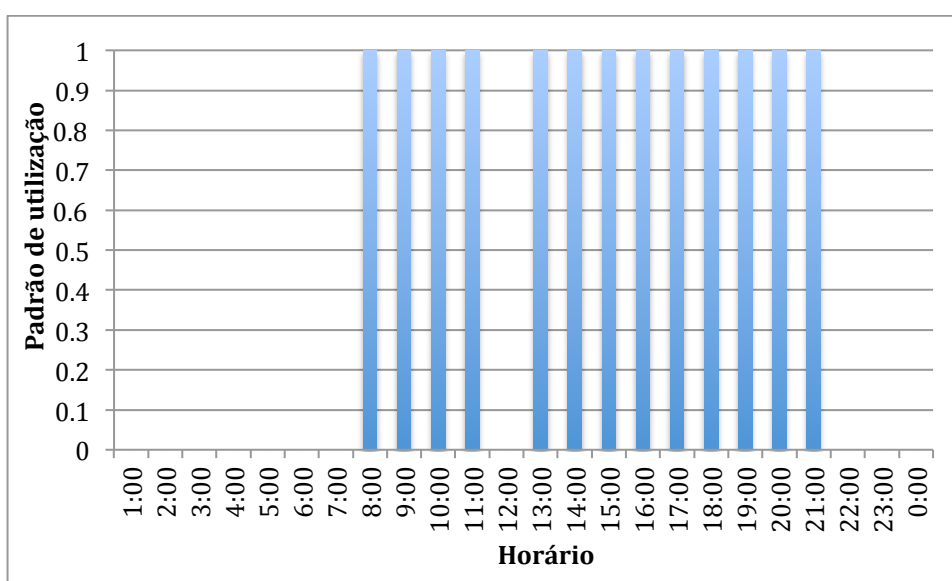
C.3 Direção, Direção da Biblioteca, Sala TI, Servidor

O padrão de uso de iluminação das salas de Direção, Direção da Biblioteca, Sala TI e Servidor também ocorre durante o seu período de ocupação, ou seja, das 8 às 12h e das 13 às 18 h.



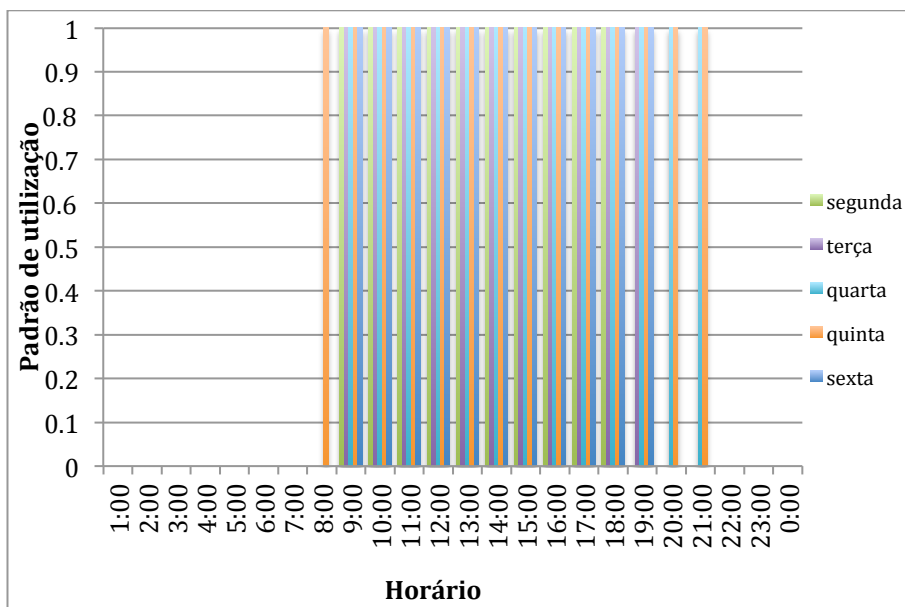
C.4 Secretaria dos cursos

O padrão de uso de iluminação da Secretaria dos cursos também ocorre durante o seu período de ocupação, ou seja, das 8 às 12 h e das 13 às 22 h.



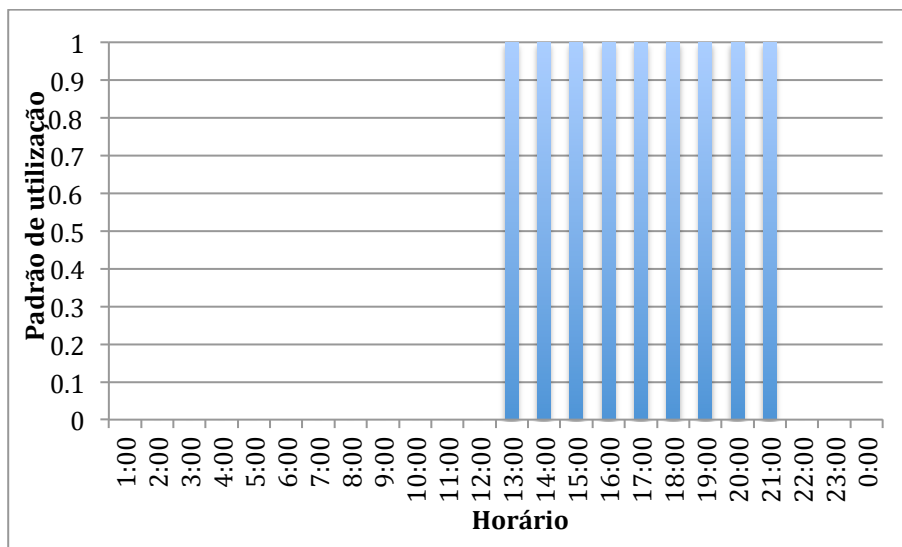
C.5 Sala dos Coordenadores

O padrão de uso de iluminação da sala dos coordenadores ocorre durante o seu período de ocupação e foi modelado de acordo com o dia da semana.



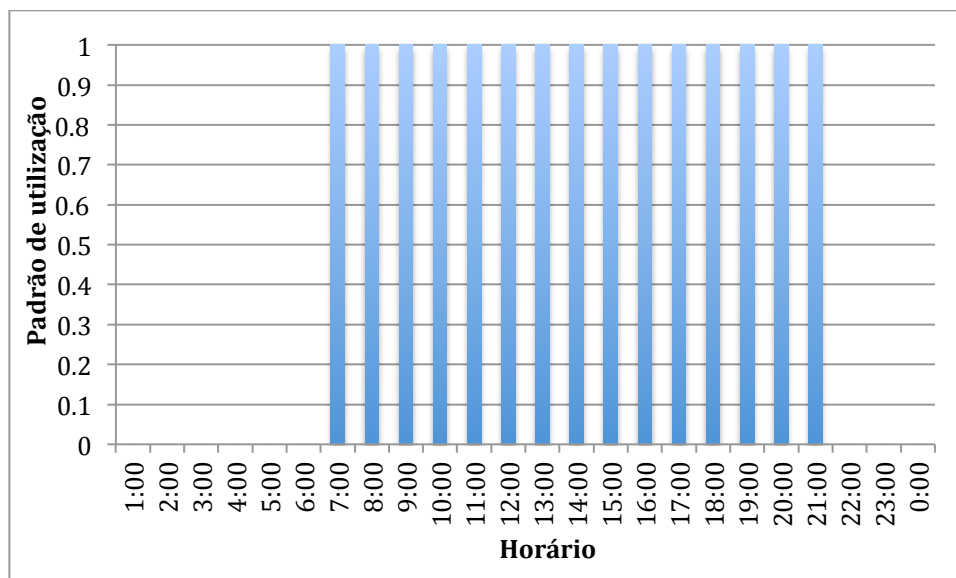
C.6 Sala de aula

O padrão de uso de iluminação das salas de aula ocorre durante o seu período de ocupação. Desta forma, foi considerada a demanda máxima unicamente no período da tarde e da noite, considerando que pela manhã utiliza-se a iluminação natural, visto que essas salas contam com grandes aberturas para o exterior.



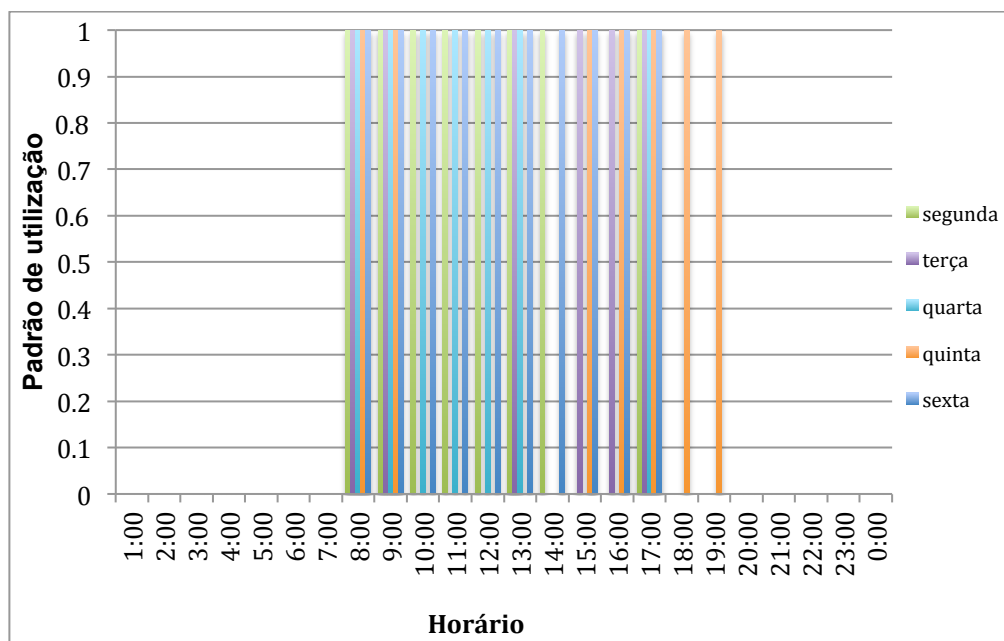
C.7 Copa

Para a iluminação da copa, considerou-se uma demanda máxima durante seu período de ocupação.



C.8 Monitoria e sala dos professores

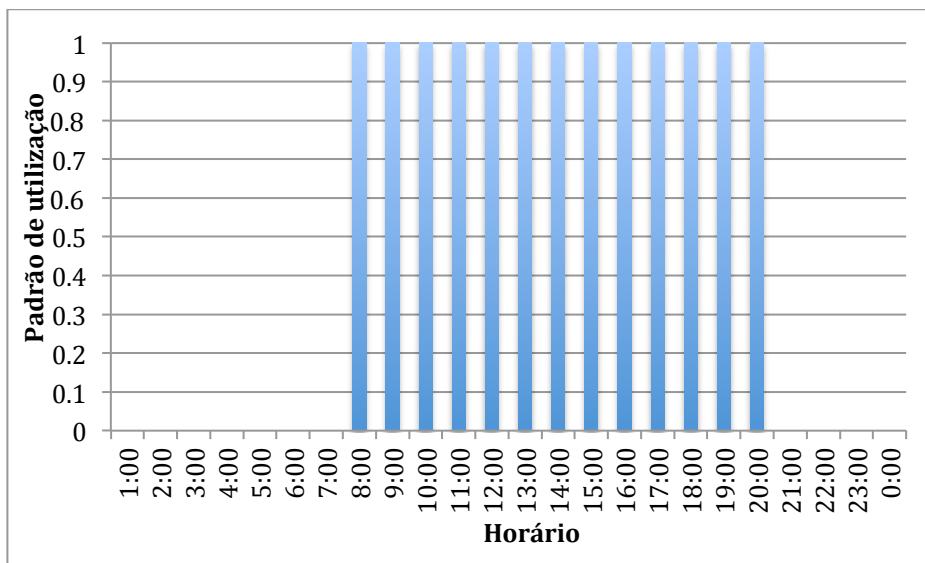
Para a iluminação das salas de monitoria e dos professores, considerou-se uma demanda máxima durante seu período de ocupação, de acordo com cada dia da semana.



APÊNDICE D – PADRÕES DE USO DOS EQUIPAMENTOS

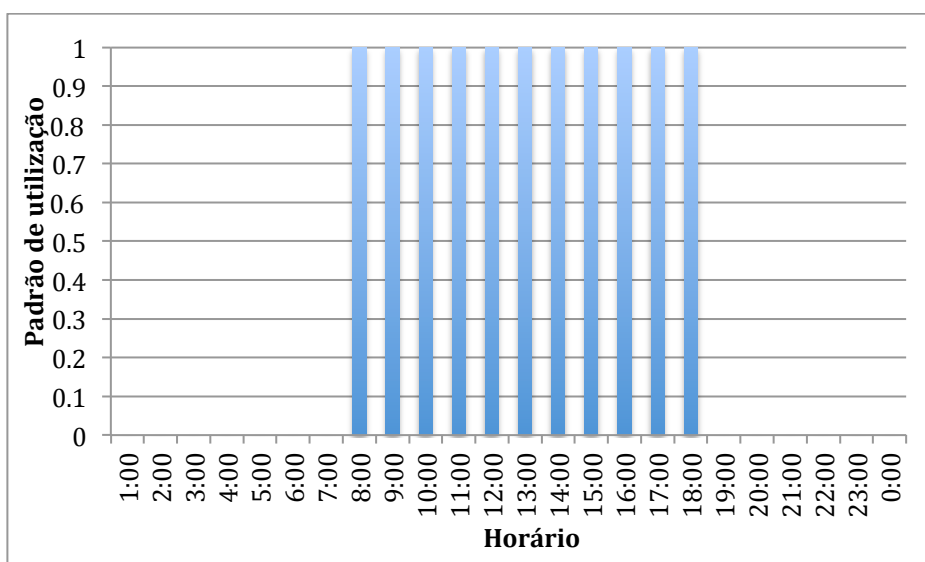
D.1 Biblioteca

A biblioteca é equipada com sete computadores e uma impressora, que ficam ligados das 8 às 21 h.



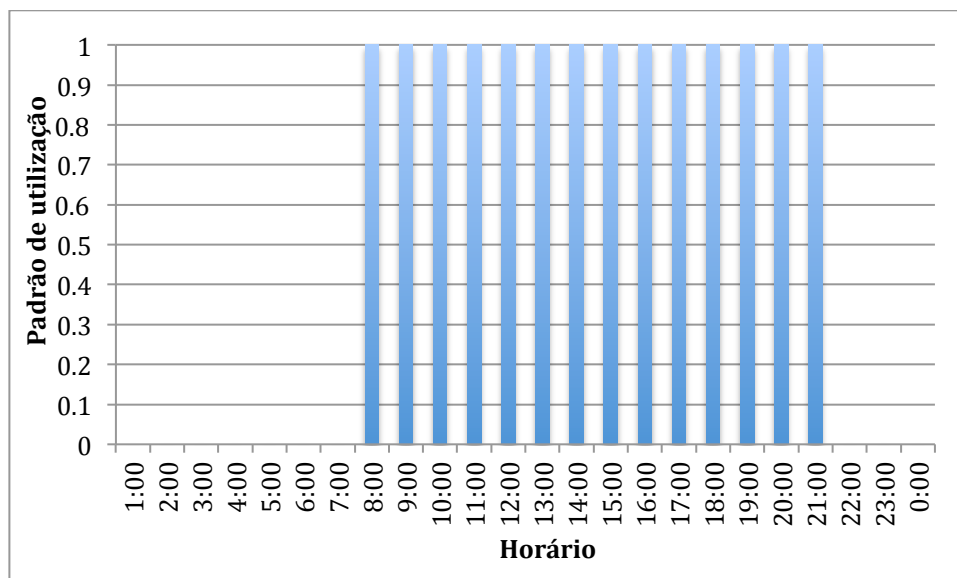
D.2 Assistência estudantil

Os equipamentos encontrados na sala da assistência estudantil são quatro computadores, que ficam ligados das 8 às 19 h.



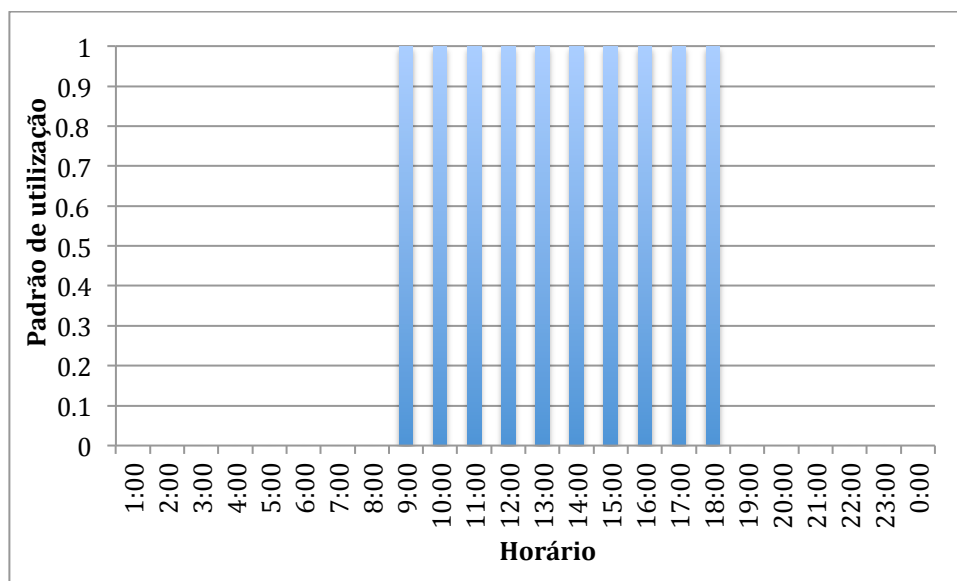
D.3 Secretaria dos cursos

Os equipamentos utilizados na secretaria dos cursos são três computadores e uma impressora que ficam ligados das 8 às 22 h.



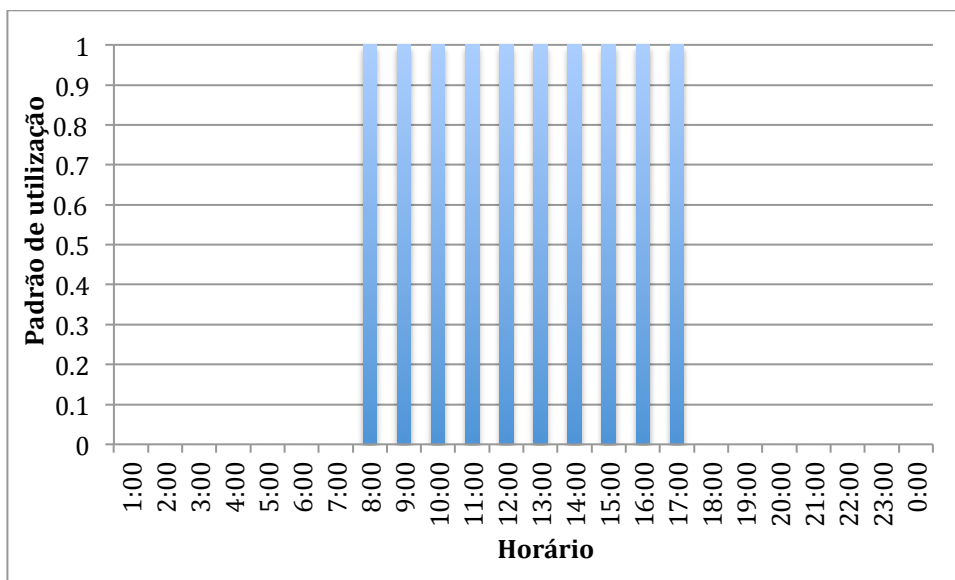
D.4 Sala dos Coordenadores

Na sala dos coordenadores são utilizados dois computadores, que ficam ligados das 9 às 19 h.



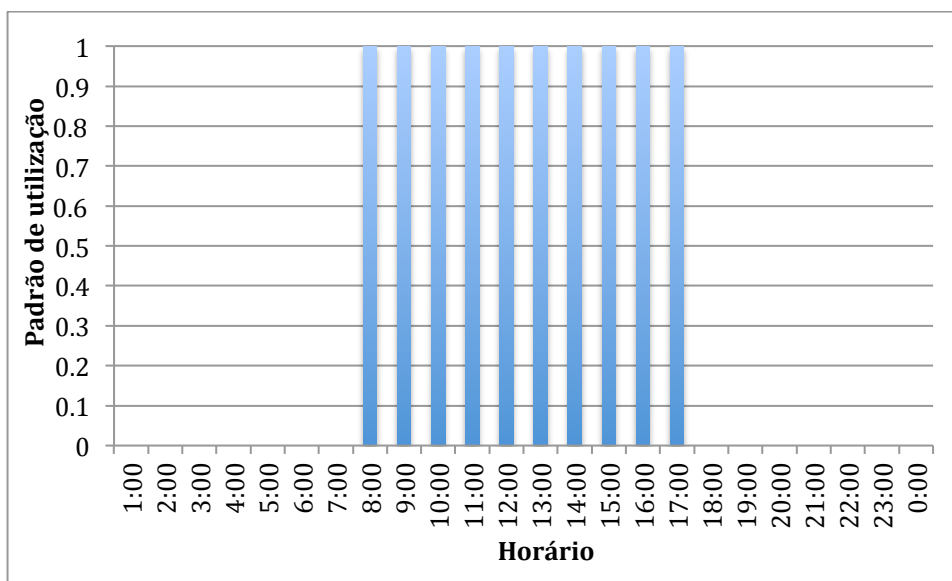
D.5 Direção

Na sala da direção são utilizados uma impressora e um computador que ficam ligados das 8 às 18 h.



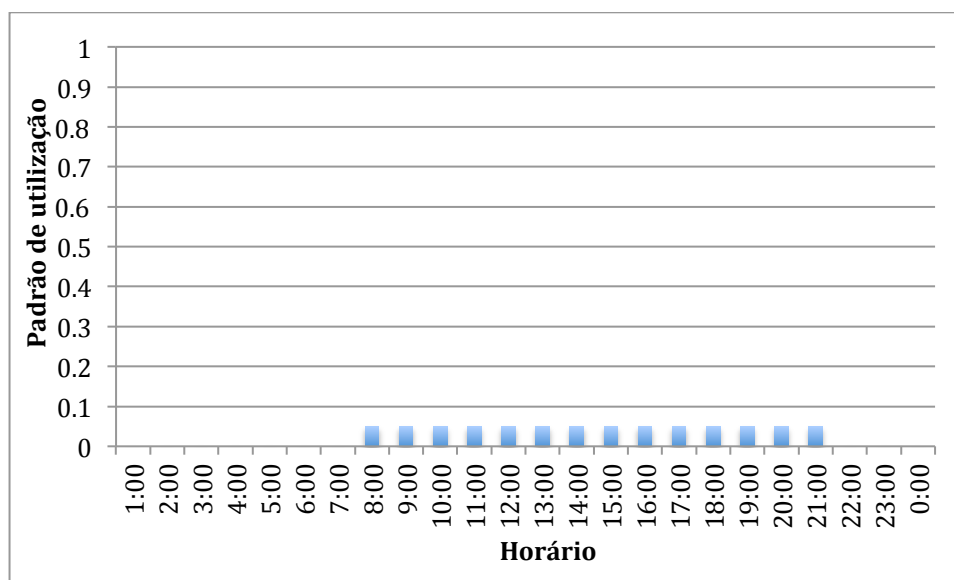
D.6 Direção da Biblioteca

A Direção da Biblioteca é equipada com dois computadores que funcionam das 8 às 18 h.



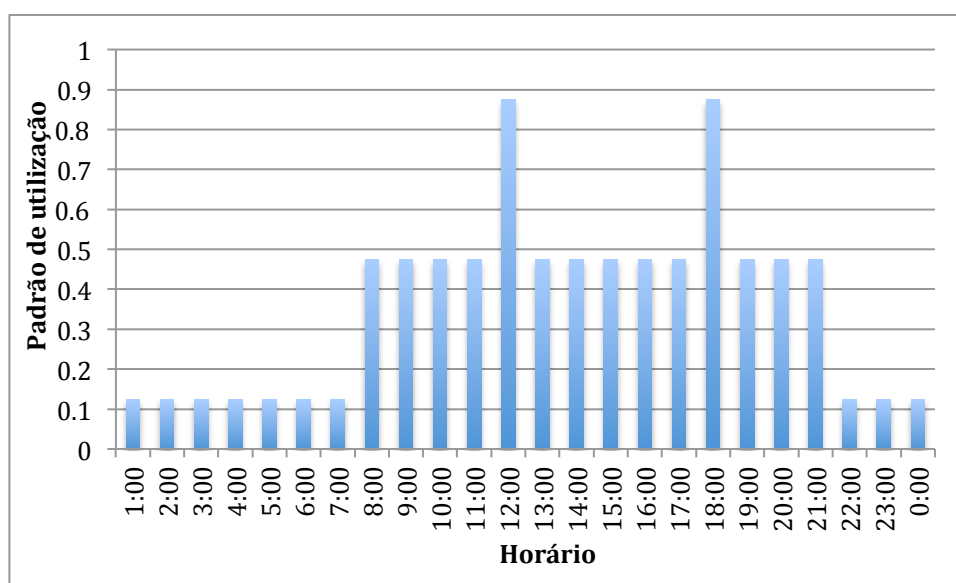
D.7 Sala de aula

Cada sala de aula é equipada com um projetor. Como o uso dele não é diário, considerou-se 5 % da sua capacidade durante o horário de funcionamento das salas de aula.



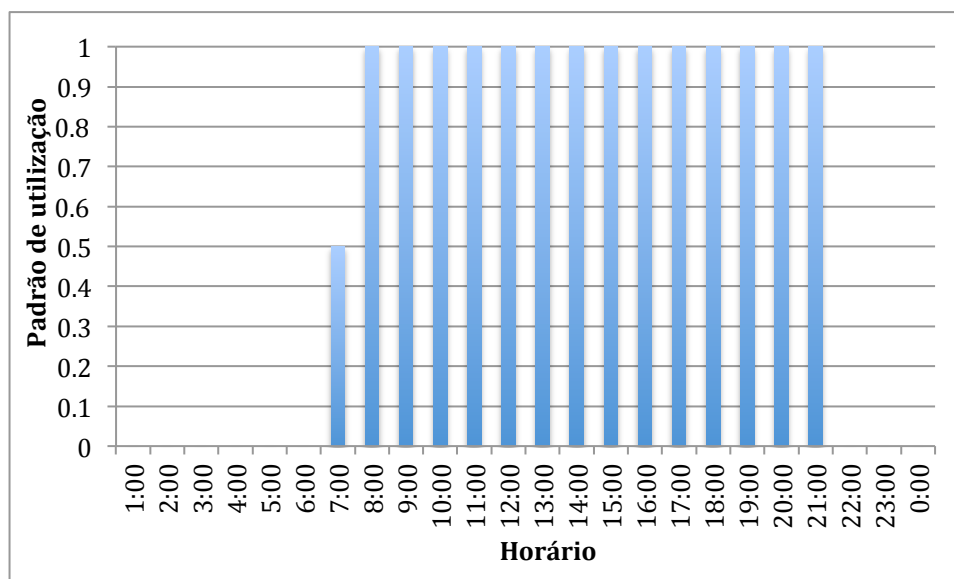
D.8 Copa

A copa é equipada com uma geladeira, um microondas e uma cafeteira. Durante os dias de semana, a geladeira funciona 24 horas por dia, a cafeteira funciona das 8 às 22 h e o micro-ondas é utilizado durante o almoço e à noite durante o jantar. Como a geladeira funciona em ciclos, considerou-se que ela opera com metade de sua potência.



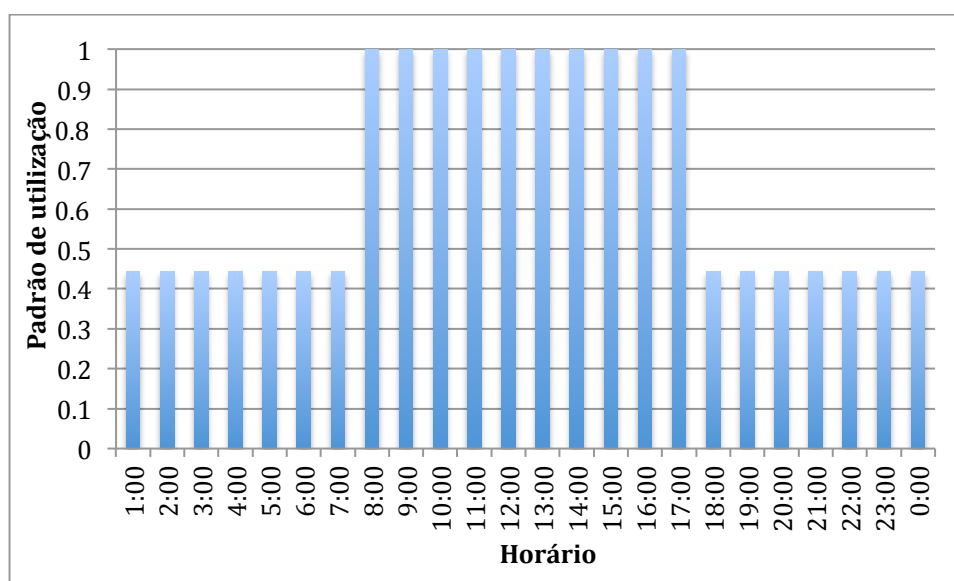
D.9 Corredor

Cada corredor é equipado com um bebedouro, que fica ligado das 7:30 às 22 h.



D.10 Sala de TI e Sala do Servidor

A sala de TI e a sala do Servidor possuem no total um servidor, um *nobreak* e dois computadores. O servidor e o *nobreak* ficam ligados constantemente e os demais, apenas durante o horário das 8 às 18 h.



ANEXO A



Figura 1- ENCE de projeto

Fonte: PBE Edifica, 2019

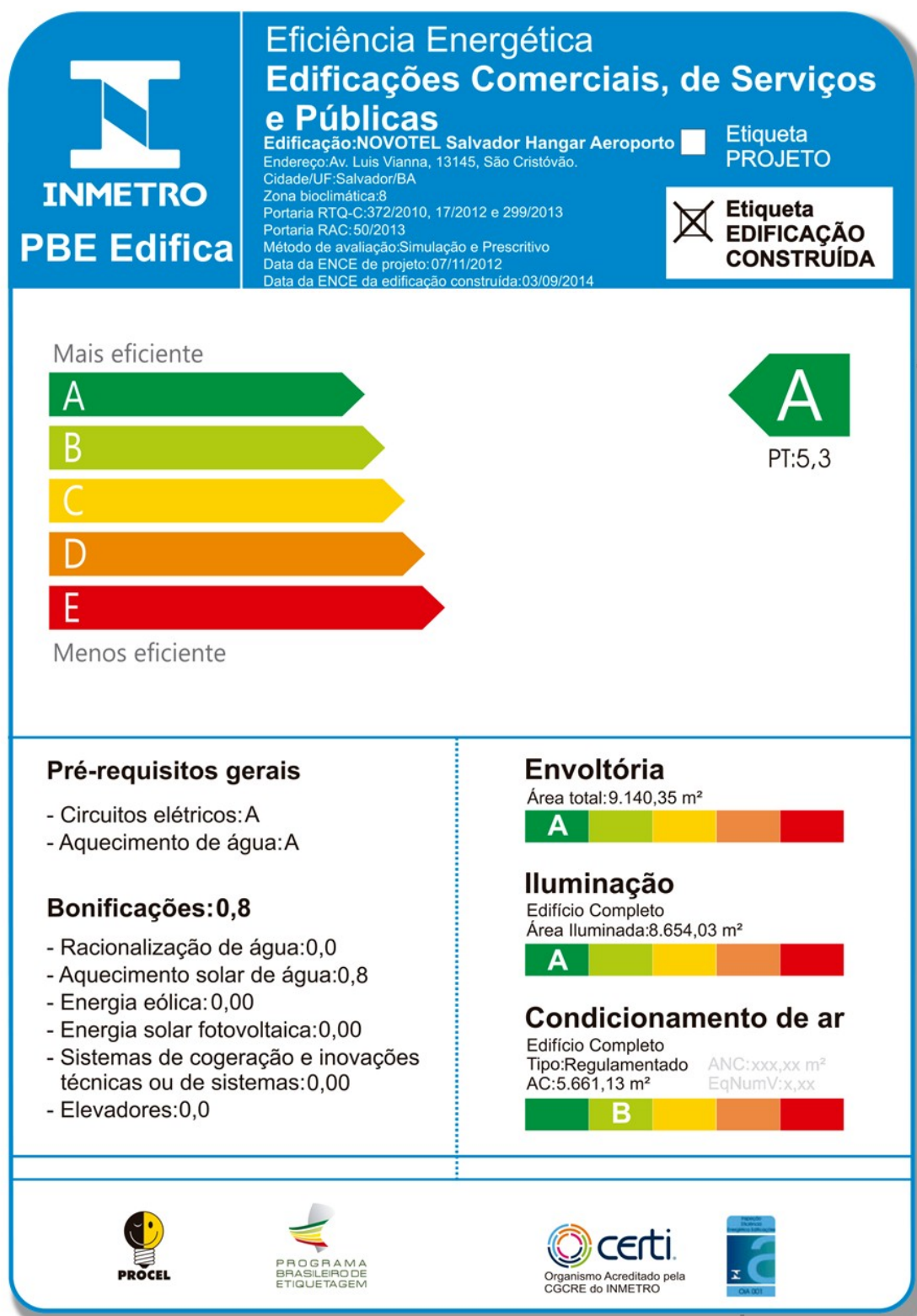


Figura 2- ENCE da Edificação Construída

Fonte: PBE Edifica, 2019